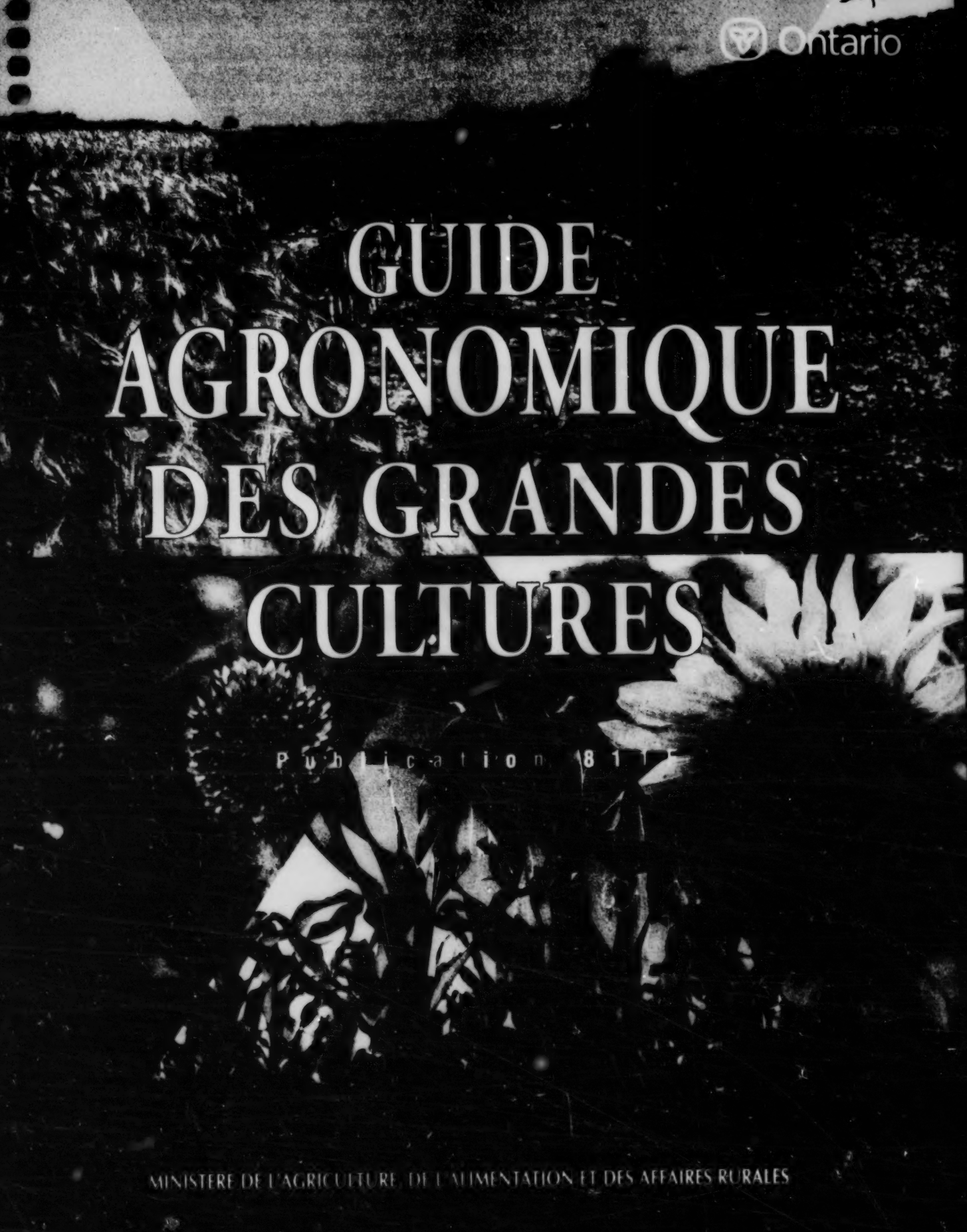

Ontario
GUIDE
AGRONOMIQUE
DES GRANDES
CULTURES
Publication 811F
MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION ET DES AFFAIRES RURALES

Guide agronomique des grandes cultures
Publication 811F

Rédactrice en chef
Tracey Baute, *MAAARO*

Corédacteurs
Adam Hayes, *MAAARO*
Ian McDonald, *MAAARO*
Keith Reid, *MAAARO*

Auteurs collaborateurs
Équipe des grandes cultures du MAAARO : Joel Bagg, Scott Banks, Tracey Baute, Horst Bohner, Christine Brown, Heather Griffiths, Brian Hall, Adam Hayes, Peter Johnson, Hugh Martin, Ian McDonald, Michael Payne, Gilles Quesnel, Keith Reid, Helmet Spieser, Greg Stewart, Albert Tenuta.

Université de Guelph : Art Schaafsma, Collège de Ridgetown.

Remerciements
Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes des efforts qu'elles ont consacrés à la révision de la présente publication : Kelly Ward, Anne Verhallen, Elaine Roddy, Rob Templeman, Harvey Wright, Tom Hartman, Joan McKinlay, Donna Speranzini, Arend Smid, Gary Ablett, Mark Sears, Peter Sikkema, François Tardif, Duane Falk, Jim Whitelaw, Jim Kells, Terry Anderson, Tom Welacky, Eric Beauchamp et Ken Janovick.

Besoin d'information technique et commerciale?
Communiquez avec le Centre d'information du MAAARO :

1 877 424-1300
ou ag.info@MAAARO.gov.on.ca

Cherchez-vous sur Internet de l'information relative aux grandes cultures?

www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/index.html

Vous y trouverez rassemblés des fiches techniques, des articles et des photos sur la production et l'entretien des grandes cultures.

Also available in English.

Commandes
Pour de l'information ou un exemplaire de la présente publication ou de toute autre publication du ministère, veuillez :

composer le 1 888 4-OMAFRA (1 888 466-2372) si vous appelez de l'Ontario ou le (519) 826-3700 si vous appelez de l'extérieur de la province, ou le (519) 826-7402 si vous êtes malentendant(e); ou écrire, par courrier électronique, à l'adresse *products@omafra.gov.on.ca*; ou visiter le site Web du ministère à *www.gov.on.ca/omafra*.

La liste complète de tous les produits et services du MAAARO, ainsi que des bons de commande, sont disponibles sur le site Web. Les commandes peuvent être transmises par télécopieur au (519) 826-3633 ou par la poste au Centre d'information du gouvernement, MAAARO, 1, ch. Stone Ouest, Guelph (Ontario) N1G 4Y2.

Publié par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales
© Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2002
Toronto, Canada
ISBN 0-7794-2425-5
04-02-2M

Table des matières

103-00608/

Introduction xix

1. Dépistage et essais à la ferme

Dépistage 1
- Quand effectuer les opérations de dépistage 1
- Outils et techniques de dépistage 1
- Nombre de points d'échantillonnage 2
- Schéma de dépistage 2
- Déterminer la densité de peuplement de la culture et les niveaux d'infestation des ravageurs 2
- Dossier des observations sur le terrain 3
- Manutention des échantillons et soumission pour identification ou diagnostic 4

Utilisation des degrés-jours (DJ) et des unités thermiques de croissance (UTC) 4
- Degrés-jours 4
- Unités thermiques de croissance 4

Essais à la ferme 6
- Choix de l'emplacement pour réduire la variabilité 6
  - Positionnement des parcelles d'essai 6
  - Orientation des parcelles d'essai 6
  - Conception des essais 7
  - Choix des traitements 7
- Collecte des données 8
- Évaluation des données 9
  - Exemples de différences de rendement entre deux traitements (hybrides A et B) 10
- Formulaire de donneés relatives au champ 11
- Formulaire de dépistage 12

2. Gestion du sol et usage des fertilisants

Conservation du sol 15

Travail du sol 15
- Méthodes traditionnelles de travail du sol 17
- Travail réduit du sol à l'automne 17
- Travail réduit du sol au printemps 17
- Semis direct 18
  - Drainage du sol 18
  - Rotation des cultures 18
- Billonnage (labour en billons) 18

Choix d'une méthode de travail du sol 19
- Continuité des systèmes de travail du sol 19
- Travaux d'amélioration du sol 19
  - Nivelage 20

Considérations économiques liées au travail de conservation (coûts de production) 20

Rotation des cultures 20
- Avantages de la rotation des cultures 20

Gestion de la matière organique du sol 21
- Fumier et autres sources de matière organique 23
  - Fumier 23
  - Biosolides et déchets 23

Cultures couvre-sol 23
- Fonctions des cultures couvre-sol 23
  - Réduction de l'érosion du sol 23
  - Ajout de matière organique 23
  - Réduction des pertes d'éléments nutritifs 23
  - Meilleure fertilité du sol 23
  - Populations réduites de ravageurs 24
  - Compactage réduit et meilleure structure du sol 24
  - Gestion de l'eau 24
  - Fourrage en cas d'urgence 24
- Choix d'une culture couvre-sol 24
  - Graminées 25
  - Ray-grass (annuel, d'Italie ou vivace) 25
  - Légumineuses 27
  - Dicotylédones autres que des légumineuses 28
- Travail du sol après une culture couvre-sol 28

Compactage du sol 29
- Détection du compactage 29
- Prévention du compactage 29
  - Sous-solage 29

Drainage 30
- Drains agricoles 30
- Drainage de surface 30
- Gestion de la nappe phréatique 30

Lutte contre l'érosion 30
- Lutte contre l'érosion hydrique 30
- Protection des fossés et des ruisseaux 30
- Brise-vent 31
- Abandon d'une terre fragile 32

Qualité de l'eau 32
- Contamination par les bactéries 32
  - Érosion du sol 32
  - Contamination par les nitrates 32
  - Contamination par les pesticides 32
  - Contamination par les carburants 32

TABLE DES MATIÈRES

Analyse du sol 33
Autres méthodes d'évaluation des besoins en éléments nutritifs 33
Programme d'analyse de sol du MAAARO 33
Prélèvement des échantillons 34
Quand échantillonner? 35
Boîtes à échantillons et feuilles de renseignements 35
Analyses portant sur les oligo-éléments 35
Contamination 35
Échantillonnage du sol 35
Analyse des tissus végétaux 35
Échantillonnage 36
Préparation de l'échantillon 36
Recommandations d'engrais 36
Acidité du sol et chaulage 36
pH tampon 36
Qualité de la chaux agricole 37
Indice agricole de la chaux 37
Profondeur du labour 38
Diminuer le pH du sol 38
Azote 38
Phosphore et potasse 39
Magnésium 39
Calcium 40
Soufre 40
Oligo-éléments 40
Manganèse 40
Prévenir et corriger les carences en manganèse 40
Zinc 40
Prévenir et corriger les carences en zinc 40
Cuivre 41
Bore 41
Réduction des quantités d'engrais recommandées 41
Fertilisation réduite après l'enfouissement de légumineuses 42
Fertilisation réduite après l'épandage de fumier 42
Valeur du fumier 42
Programme de gestion des éléments nutritifs 42
Facteurs influençant la biodisponibilité pour les cultures de l'azote provenant du fumier 44
Analyse du fumier 45
Prévision et gestion des pertes d'éléments nutritifs du fumier 45
Valeur à long terme du fumier 46
Besoins des cultures 47
Calibrage des épandeurs 48
Préoccupations environnementales liées au fumier 48
Évaluation du risque lié à l'azote 49
Évaluation des risques liés au phosphore 50
Biosolides et déchets utilisés sur les terres agricoles 50
Engrais 51
Sels solubles dans les terres agricoles 52
Toxicité des engrais chimiques 53
Engrais azotés 53
Engrais phosphatés 53
Engrais potassiques 53
Engrais contenant des oligo-éléments 54
Directives pour l'application d'éléments fertilisants sans danger pour le semis 55
Engrais foliaires 55
Calcul des besoins en fertilisants 55

3. Maïs

Méthodes de travail du sol 57
Méthode traditionnelle 57
Travail réduit du sol à l'automne 57
Travail réduit du sol au printemps 58
Travail du sol par bandes à l'automne 59
Semis direct 59
Drainage du sol 60
Rotation des cultures 60
Gestion des résidus 60
Lutte contre les mauvaises herbes 61
Mise en place de l'engrais 61
Compactage du sol 61
Choix des hybrides 61
Évaluation de la maturité 61
Choix des hybrides les plus profitables 62
Maturité et unités thermiques de croissance 62
Rendement le plus élevé 62
« Chevaux de trait » c. « chevaux de course » 65
Résistance à la verse 65
Teneurs en eau à la récolte et coûts de séchage 65
Choix des hybrides destinés à l'ensilage 65
Passage à des hybrides à cycle plus court 66
Semis 68
Date de semis 68
Densité de peuplement 69
Profondeur de semis 70
Croissance du maïs 70
Uniformité de la levée 70
Uniformité de l'espacement 73
Écartement des rangs 73
Rangs rapprochés 73
Reprise des semis 74
Engrais pour le maïs 74
Azote 74
Teneur du sol en azote des nitrates 75
Époque de l'échantillonnage 75
Prélèvement des échantillons 76
Manipulation des échantillons 76
Faire preuve de jugement 76

Laboratoires 77
Ratio coût de l'azote/prix du maïs 77
Recommandations générales 77
Application de l'azote 78
Phosphate et potasse 79
Fertilisation au moment du semis 80
Doses maximales sûres d'éléments fertilisants 80
Oligo-éléments et éléments nutritifs secondaires 80
Magnésium 80
Soufre 80
Zinc 80
Manganèse 81
Autres oligo-éléments 81
Analyse des tissus végétaux 81
Fertilisation foliaire 82
Récolte du maïs 82
Récolte et entreposage du maïs d'ensilage 82
Entreposage du maïs 82
Séchage et entreposage du maïs 82
Lutte contre les mauvaises herbes 84
Période critique de lutte contre les mauvaises herbes 84
Stades de croissance foliaire 85
Pertes dues aux mauvaises herbes 86
Lutte mécanique contre les mauvaises herbes 86
Résistance aux herbicides 87
Lutte intégrée contre les mauvaises herbes 87
Ravageurs 89
Ver fil-de-fer 90
Larve de la mouche des légumineuses 90
Carabe du maïs 91
Hanneton européen (ver blanc) 92
Ver-gris noir 92
Limaces 93
Chrysomèle des racines du maïs 94
Pyrale du maïs 95
Légionnaire uniponctuée 96
Légionnaire d'automne 97
Ver de l'épi du maïs 98
Altise du maïs 99
Noctuelle de la pomme de terre 99
Puceron du maïs 100
Nitidule 100
Maladies 101
Maladies des plantules *101*
Pourriture des semences, brûlures des plantules et pourriture des racines 101
Maladies foliaires *102*
Anthracnose 102
Dessèchement 103
Kabatiellose 103
Flétrissement bactérien (flétrissement de Stewart, bactériose) 104
Cercosporiose du maïs 104
Rouille 105
Charbon commun 105
Pourritures de la tige *106*
Anthracnose se manifestant par la pourriture de la tige 107
Pourritures de la tige causées par *Gibberella, Fusarium* et *Diplodia* 107
Piétin brun 107
Pourritures et moisissures de l'épi *108*
Pourriture fusarienne de l'épi 108
Fusariose de l'épi 109
Pourriture sèche de l'épi 109
Autres problèmes liés à la culture du maïs 109
Froid 109
Froid en début de saison 109
Froid en fin de saison 110
Chaleur 111
Inondation 111
Sécheresse 111
Grêle 111
Oiseaux 112
Blessures occasionnées par les herbicides 112
Types particuliers de dommages par les herbicides 113

4. Soya

Systèmes de travail du sol 115
Semis direct et travail réduit du sol 115
Rotation des cultures 116
Choix des cultivars 117
Date de maturité et unités thermiques de croissance 117
Couleur du hile 118
Cultivars de qualité supérieure 118
Cultivars à identité préservée 118
Biotechnologie 119
Semis et croissance de la culture 119
Qualité des semences 119
Inoculation 119
Date de semis 121
Semis retardé 121
Récoltes successives 121
Espacement des rangs 122
Taux de semis 122
Profondeur de semis 123
Encroûtement 123
Croissance des plants 124
Germination et levée 124
Décisions concernant la reprise des semis 128
Compensation et espacement des plants (vides) 128
Évaluation des réductions de peuplement 128

TABLE DES MATIÈRES

Évaluation du rendement après une reprise des semis....128
Réensemencement des peuplements clairsemés...128
Fertilisation....129
Azote....129
Phosphate et potasse....129
Méthodes d'application....129
Analyse des tissus végétaux....129
Oligo-éléments....129
Manganèse....129
Récolte et entreposage....130
Minimiser les pertes de récolte....130
Qualité et préservation de l'identité....131
Avant la récolte....131
Récolte et entreposage....131
Séchage du soya....132
Séchoirs à grains....132
Séchage du soya à l'air chaud et à l'air froid....132
Séchage à l'air ambiant....132
Détermination du débit d'air....134
Teneur en eau d'équilibre....134
Lutte contre les mauvaises herbes....135
Période critique....135
Pertes dues aux mauvaises herbes....135
Résistance aux herbicides....135
Lutte intégrée contre les mauvaises herbes....135
Ravageurs....138
Mouche des légumineuses....138
Limaces....139
Cicadelle de la pomme de terre....139
Puceron du soya....140
Tétranyque à deux points....141
Insectes défoliateurs....*142*
Chrysomèle du haricot....143
Scarabée japonais....144
Sauterelles....144
Maladies....145
Pourriture des graines et brûlure des plantules...145
Pourridié phytophthoréen....146
Rhizoctonie....147
Brûlure phomopsienne....147
Oïdium et mildiou....148
Moisissure blanche (*Sclerotinia*)....148
Nématode à kyste du soya....149
Pourriture brune, chancre de la tige et syndrome de la mort subite....151
Mosaïque du soya....153
Marbrure des gousses du haricot....154
Autres problèmes liés aux cultures....154
Dommages causés par la gelée et la grêle....154
Début de saison....154
Dommages à la tige....154
Dommages causés par des températures froides et la gelée en fin de saison....154
Dommages causés par les herbicides....155
Types particuliers de dommages par les herbicides....155

5. Cultures fourragères

Espèces....157
Légumineuses vivaces....157
Luzerne....157
Lotier corniculé....157
Trèfle rouge....158
Trèfle blanc....158
Mélilot....158
Trèfle d'Alsike....158
Trèfle kura....158
Graminées vivaces....158
Fléole....159
Brome inerme....159
Brome des prés....159
Dactyle pelotonné....159
Alpiniste roseau....159
Fétuque élevée....159
Vulpin des prés....159
Fétuque rouge traçante....160
Fétuque des prés....160
Ray-grass vivace....160
Pâturin....160
Fourrages annuels....160
Céréales d'automne (seigle, triticale, blé)....160
Céréales de printemps (avoine, orge, triticale)....162
Mélanges céréales-pois....162
Soya destiné au fourrage....163
Graminées annuelles de saison chaude....163
Millets....163
La famille du sorgho....164
Intoxication aux nitrates....165
Crucifères fourragères : colza fourrager, chou fourrager et navet fourrager....165
Ray-grass annuel....165
Choix des mélanges....167
Choix des cultivars....169
Travail du sol....169
Préparation du lit de semence....169
Établissement (semis)....170
Période du semis....170
Semis de printemps....170
Semis d'été....170
Taux et profondeur de semis....171
Matériel de semis....171
Semoir à céréales....171
Semoirs cultitasseurs....172

Semoirs à la volée 172
Semoirs pour semis direct 172
Semis avec culture-abri 172
Récolte de la culture-abri comme céréale 172
Récolte de la culture-abri pour l'ensilage 173
Semis direct 173
Autotoxicité de la luzerne 173
Inoculation 174
Fertilisation 174
Azote 174
Phosphate et potasse 175
Analyse de tissus végétaux 176
Oligo-éléments 176
Bore 176
Soufre 177
Autres oligo-éléments 177
Fumier 177
Chaulage 177
Récolte et entreposage 177
Qualité du fourrage 177
Terminologie de la nutrition du bétail 178
À la distribution 178
Matière sèche 178
Protéines brutes (PB) 178
Fibre au détergent acide (FDA) 178
Fibre au détergent neutre (FDN) 178
Valeur alimentaire relative (VAR) 178
Énergie nette (ÉN) 178
Unités nutritives totales (UNT) 178
Azote insoluble au détergent acide (ADF-N) ... 178
Digestibilité in vitro 178
Digestibilité des fibres (dNDF) 178
Profil de fermentation 178
Mesure de l'énergie digestible de l'ensilage du maïs 178
Période de récolte du fourrage 179
Prévoir la qualité de la luzerne dans une culture sur pied 179
Foin sec 180
Coupe et conditionnement 180
Pertes à la récolte 180
Pertes à l'entreposage 181
Échauffement du foin 181
Additifs pour foin 182
Séchoirs à foin en grange 183
Foin pour chevaux 183
Ensilage préfané et ensilage de maïs 183
Types d'entreposage des ensilages 183
Moment de la récolte de l'ensilage de maïs 183
Fermentation de l'ensilage 184
Pertes d'ensilage dues à l'entreposage 185
Pratiques recommandées en matière d'ensilage préfané et d'ensilage de maïs 185
Inoculants bactériens pour ensilage 186
Problèmes d'ensilage courants et leurs causes 187
Gaz d'ensilage 187
Grosses balles d'ensilage préfané 188
Lutte contre les mauvaises herbes 189
Période critique 189
Restrictions culturales 189
Pertes de récolte dues aux mauvaises herbes 189
Lutte intégrée contre les mauvaises herbes 189
Ravageurs 191
Charançon de la luzerne 191
Mineuse virgule de la luzerne 192
Charançon postiche de la luzerne 192
Cicadelle de la pomme de terre 194
Hespérie des graminées 194
Sauterelles 195
Légionnaire uniponctuée 195
Légionnaire d'automne 196
Maladies 197
Flétrissure verticillienne 197
Pourridié phytophthoréen 197
Pourriture des semences, fonte des semis ou brûlure des plantules causées par *Pythium* 198
Anthracnose (luzerne) et anthracnose septentrionale (trèfle rouge) 199
Tache commune et tache leptosphaerulinienne (lepto) des feuilles 199
Flétrissure bactérienne 200
Pourridié dû à *Aphanomyces* 200
Autres pourridiés (luzerne et trèfle rouge) 201
Autres problèmes 201
Destruction des fourrages par l'hiver 201
Facteurs influençant la survie à l'hiver 201
Période critique de récolte d'automne pour la luzerne 201
Cultivars de luzerne tolérants à l'hiver 202
Couverture de neige 202
Couche de glace 202
Repousse d'automne 203
Drainage du sol 203
Gestion du fauchage 203
Fertilité et pH du sol 203
Lutte contre les insectes et les maladies 203
Évaluation des chances de survie à l'hiver d'un peuplement de luzerne 203

6. Céréales

Travail du sol 205
Méthodes de travail du sol 205
Semis direct 205
Méthode traditionnelle 206
Semis sur sol gelé des céréales de printemps 206

CÉRÉALES

Semis aérien du blé d'automne 207
Semis à la volée 207
Choix du cultivar 207
Critères habituels de sélection des cultivars 208
Dormance du blé d'automne 208
Facteurs uniques aux cultures de céréales 208
Paille 208
Classes 209
Espèces céréalières 210
Orge 210
Avoine 211
Céréales mélangées 211
Blé d'automne 211
Blé de printemps 212
Seigle 212
Triticale et épeautre 212
Biotechnologie 212
Semis 213
Profondeur de semis 213
Profondeur de semis optimale 214
Croissance des céréales 215
Dates de semis 215
Céréales d'automne 216
Céréales de printemps 217
Reprise des semis 217
Taux de semis 217
Exemple de calcul 218
Écartement des rangs 218
Autres possibilités à explorer 219
Fertilisation 219
Engrais pour les cultures céréalières 219
Azote 219
Phosphate et potasse 222
Analyse des tissus végétaux 224
Oligo-éléments 224
Manganèse 224
Cuivre 224
Bore 225
Zinc 225
Récolte et entreposage 225
Réglage optimal de la moissonneuse-batteuse 225
Grain endommagé par *Fusarium* 225
Récolte de céréales versées 226
Releveurs d'épis 226
Réglage des couteaux 226
Réglage du rabatteur 226
Passage à sens unique 226
Blé infecté par la carie 226
Séchage et entreposage du blé 227
Systèmes de séchage 227
Séchage à l'air ambiant et à basse température 227
Séchage à haute température 228
Détermination du débit d'air 228
Teneur en eau d'équilibre 229
Quand faire fonctionner le ventilateur 229
Lutte contre les mauvaises herbes 229
Période critique de lutte contre les mauvaises herbes 229
Pertes dues aux mauvaises herbes 230
Lutte mécanique contre les mauvaises herbes 230
Lutte intégrée contre les mauvaises herbes 230
Ravageurs 232
Ver fil-de-fer 232
Hanneton européen (ver blanc) 233
Puceron du merisier à grappes 233
Mouche de Hesse 234
Criocère des céréales 235
Légionnaire uniponctuée 235
Légionnaire d'automne 236
Maladies 237
Maladies des plantules : Pourriture des semences, brûlure des semis et pourritures des racines 237
Brûlure des semis causée par *Fusarium* (pourriture du collet) 237
Piétin brun 238
Piétin-échaudage 238
Tache ocellée, rhizoctone ocellé 239
Moisissures des neiges 239
Rouilles des feuilles et de la tige 240
Nanisme jaune de l'orge 241
Mosaïque-rosette causée par le virus *Polymyxa* de la mosaïque du blé et filosité-bigarrure causée par le virus de la filosité panachée du blé 242
Carie naine et carie du blé 242
Charbon nu 244
Ergot 244
Blanc 244
Tache septorienne, tache des glumes causée par *Stagonospora* (*Septoria*) 245
Fusariose 246
Tache helminthosporienne 247
Maladies de l'orge 247
Tache helminthosporienne, brûlure des semis, pourriture des racines et brûlure de l'épi 247
Rayure réticulée et tache pâle 248
Maladies de l'avoine 248
Tache septorienne 248
Rouille des feuilles de l'avoine 248
Nématode à kyste de l'avoine 248
Autres problèmes des cultures céréalières 249
Destruction par l'hiver 249
Déchaussement par le gel 249
Glace 249
Blessures par le froid 249
Dommages par les herbicides 249

Types particuliers de dommages par les herbicides ..250
Atrazine 250
Glyphosate 250
Bromoxynil 250

7. Haricots secs comestibles
Méthodes de travail du sol 251
Considérations relatives à la rotation des cultures 251
Choix du cultivar 252
Maturité – UTC 252
Biotechnologie 252
Semis et croissance de la culture 252
Qualité de la semence 252
Date des semis 252
Taux et profondeur de semis 253
Écartement des rangs 254
Inoculation 254
Houe rotative 254
Décisions relatives à la reprise des semis 254
Croissance 254
Fertilité 255
Azote 255
Phosphate et potasse 255
Méthodes d'application 255
Analyse des tissus végétaux 255
Oligo-éléments 256
Manganèse 256
Zinc 256
Bore 256
Récolte et entreposage 256
Arrachage, andainage et battage 257
Moissonnage-battage 257
Conservation de la qualité à la récolte 258
Lutte contre les mauvaises herbes 258
Période critique de lutte contre les mauvaises herbes 258
Pertes de récolte dues aux mauvaises herbes 259
Lutte mécanique contre les mauvaises herbes 259
Lutte intégrée contre les mauvaises herbes 259
Ravageurs 261
Mouche des légumineuses 261
Cicadelle de la pomme de terre 262
Insectes défoliateurs 263
Noctuelle des légumineuses 263
Coccinelle mexicaine des haricots 264
Sauterelles 264
Maladies 265
Mesures préventives — Généralités 265
Brûlures bactériennes 265
Anthracnose 266
Mosaïque commune du haricot 266
Complexe de la pourriture des racines 267
Moisissure blanche (*Sclerotinia*) 268
Nématode à kyste du soya 269
Autres problèmes liés aux cultures 269
Dommages par le gel et la grêle 269
Bronzage 269
Problèmes liés à la qualité des semences 269
Blessures occasionnées par les herbicides 269
Types particuliers de dommages par les herbicides .. 270
Dommages causés par le quizalofop-p-éthyl 270
Dommages causés par l'acétolactose-synthase (ALS) (p. ex. l'imazéthapyr) 270

8. Canola de printemps et canola d'automne
Méthodes de travail du sol 271
Méthode traditionnelle 271
Travail réduit du sol 271
Semis direct 271
Compactage du sol 271
Variabilité d'un champ à l'autre 271
Choix du cultivar 271
Maturité — Unités thermiques de croissance 271
Canola de printemps 271
Canola d'automne 272
Choix de cultivars de première qualité 272
Verse 272
Graines brunes 272
Acides gras libres 272
Graines vertes 272
Biotechnologie 272
Semis et développement de la culture 273
Qualité de la semence 273
Traitement des semences 273
Date de semis 273
Canola de printemps 273
Canola d'automne 273
Écartement des rangs, taux et profondeur de semis ... 273
Semis à la volée 273
Conditions du lit de semence 274
Rotation des cultures 274
Reprise des semis 274
Développement des plants 274
Principaux stades de croissance du canola 274
Fertilité 275
Mise en place de l'engrais et moment de l'épandage 275
Azote 275
Canola de printemps 275
Canola d'automne 275
Phosphate et potasse 275
Carences nutritives 276
Soufre 276

Bore 276
Récolte et entreposage 277
Récolte en coupe directe 277
Andainage 277
Moissonnage-battage des andains de canola ... 277
Entreposage 278
Lutte contre les mauvaises herbes 278
Période critique de lutte contre les mauvaises herbes 278
Pertes de rendement dues aux mauvaises herbes 278
Lutte intégrée contre les mauvaises herbes 278
Ravageurs 280
Altises 280
Fausses-teignes des crucifères 280
Maladies 281
Complexe des maladies des plantules 281
Jambe noire 282
Moisissure blanche (*Sclerotinia*) 282
Mosaïque du navet 283
Autres problèmes liés à la culture du canola 283
Dommages par le gel et la grêle 283
Blessures occasionnées par les herbicides 283
Destruction par l'hiver 283
Pollinisation croisée de cultivars résistants aux herbicides 284
Drains agricoles obstrués 284

9. Autres cultures

Sarrasin 285
Méthodes de travail du sol et préparation du lit de semence 285
Choix du champ 285
Choix du cultivar 286
Semis 286
Utilisation comme engrais vert 286
Fertilité 287
Récolte et entreposage 287
Récolte 287
Entreposage 288
Aliments pour animaux 288
Lutte contre les mauvaises herbes 288
Insectes et maladies 288
Lin 289
Travail du sol 289
Choix du cultivar 289
Semis 289
Croissance de la culture 289
Fertilité 290
Récolte et entreposage 290
Récolte 290
Entreposage 290
Enlèvement de la paille 290
Lutte contre les mauvaises herbes 291
Insectes et maladies 291
Tournesol 291
Méthode de travail du sol 291
Choix du cultivar 291
Semis 291
Rotation 292
Fertilité 293
Récolte et entreposage 293
Récolte 293
Entreposage 293
Lutte contre les mauvaises herbes 293
Insectes 293
Maladie 294
Moisissure blanche (*Sclerotinia*) 294

10. Gestion des grains entreposés

Entreposage des grains dans des cellules de stockage 295
Suggestions pour une bonne gestion des cellules de stockage 295
Pourquoi aérer les grains entreposés dans les cellules de stockage 295
Principes d'aération 295
Vérification des grains entreposés 296
Liste de vérification mensuelle des cellules de stockage 296
Gestion des insectes des grains entreposés à la ferme 296
Garder les lieux propres 296
Maintenir les installations d'entreposage en bon état 297
Entreposer des grains propres et secs 297
Bien surveiller la température d'entreposage et faire le dépistage des insectes 297
Traiter les cellules vides à la terre à diatomées 297
Utiliser des traitements de sauvetage au besoin 298
Identifier les ravageurs correctement 298
Insectes des grains entreposés 298
Technique de dépistage des insectes des grains entreposés 298

11. Annexes

Annexe A. Fournisseurs de matériel pour le dépistage d'insectes 303
Annexe B. Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario 303
Annexe C. Indice de phosphore 304
Annexe D. Calcul des éléments nutritifs assimilables à partir de l'analyse du fumier 306

Annexe E. Calculs afférents à la détermination du seuil de nuisibilité économique de la pyrale du maïs 308
Annexe F. Laboratoires capables d'effectuer l'analyse d'aliments pour animaux 309
Annexe G. Laboratoires de dépistage du nématode à kyste du soya 309
Annexe H. Laboratoires d'analyse des semences accrédités par l'Agence canadienne d'inspection des aliments 310
Annexe I. Manomètre de fabrication artisanale 312
Annexe J. Information sur les semences 313
Annexe K. Poids spécifiques et teneurs en eau approximatives pour le commerce des céréales 313
Annexe L. Service de diagnostic 314
Annexe M. Autres ressources 316
Annexe N. Système métrique 318

12. Planches couleur 321

TABLE DES MATIÈRES

Tableaux

1. Dépistage et essais à la ferme

Tableau 1–1. Nombre de points d'échantillonnage recommandés selon la taille du terrain et le ravageur 2
Tableau 1–2. Longueur de rang nécessaire pour obtenir un millième de un acre selon la largeur des rangs 3
Tableau 1–3. Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations de ravageurs à l'aide d'un « cerceau » 4

2. Gestion du sol et usage des fertilisants

Tableau 2–1. Maintien ou amélioration de la qualité du sol 16
Tableau 2–2. Pourcentage moyen de sol couvert de résidus en fonction des différents systèmes de travail du sol et des différentes cultures 18
Tableau 2–3. Effets du système de travail du sol sur le rendement des cultures à Woodstock (Ontario) (1996–2000) 19
Tableau 2–4. Effet de la rotation sur le rendement du maïs 21
Tableau 2–5. Diverses rotations des cultures et leurs effets négatifs potentiels 22
Tableau 2–6. Production de matière sèche des cultures couvre-sol 23
Tableau 2–7. Caractéristiques des couvre-sol cultivés en Ontario 25
Tableau 2–8. Lutte contre l'érosion hydrique 31
Tableau 2–9. Analyses de sol reconnues par le MAAARO 33
Tableau 2–10. pH auquel le chaulage est recommandé pour les grandes cultures en Ontario 37
Tableau 2–11. Quantité de chaux nécessaire pour corriger l'acidité du sol en fonction du pH et du pH tampon du sol 38
Tableau 2–12. Exemple de calcul de la finesse de mouture de la chaux 38
Tableau 2–13. Interprétation des résultats sur le manganèse 40
Tableau 2–14. Interprétation des résultats sur le zinc 41
Tableau 2–15. Réduction des besoins d'azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses 42
Tableau 2–16. Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques 43
Tableau 2–17. Proportion d'azote biodisponible (en rapport avec l'azote total) 44
Tableau 2–18. Niveaux approximatifs d'azote ammoniacal par type de fumier 45
Tableau 2–19. Pourcentage estimatif des pertes d'azote ammoniacal attribuables aux conditions atmosphériques et aux conditions de sol 46
Tableau 2–20. Pourcentage estimatif des pertes d'azote organique biodisponible l'année de l'application 46
Tableau 2–21. Prélèvements moyens d'éléments nutritifs (N, P, K) par certaines grandes cultures 47
Tableau 2–22. Calibrage des épandeurs de fumier 48
Tableau 2–23. Densité de différents types de fumier 48
Tableau 2–24. Effets de la pente et de la texture du sol sur la dose 49
Tableau 2–25. Calcul de la distance de sécurité minimale par rapport aux cours d'eau 49
Tableau 2–26. Engrais — Éléments nutritifs primaires 51
Tableau 2–27. Engrais — Éléments secondaires et oligo-éléments 51
Tableau 2–28. Caractéristiques des engrais liquides les plus répandus 52
Tableau 2–29. Interprétation des résultats de conductivité du sol 53
Tableau 2–30. Doses maximales sûres des éléments fertilisants 54
Tableau 2–31. Exemple de calcul des besoins d'épandage de fertilisant 55

3. Maïs

Tableau 3–1. Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain 57
Tableau 3–2. Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain 58
Tableau 3–3. Effets des méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain à la suite du soya 59
Tableau 3–4. Travail du sol par bandes en vue d'une culture de maïs suivant le blé d'automne 59

Tableau 3–5. Effets de différentes quantités de paille de blé sur le rendement du maïs en semis direct....60
Tableau 3–6. Effets de la méthode de travail du sol sur les rendements du maïs à la suite du blé d'automne....61
Tableau 3–7. Accumulations saisonnières moyennes d'unités thermiques de croissance en différents points de l'Ontario....63
Tableau 3–8. Accumulations quotidiennes d'unités thermiques de croissance en fonction des températures maximales et minimales....64
Tableau 3–9. Conversions approximatives entre trois systèmes de mesure des accumulations de chaleur au cours d'une saison de croissance....65
Tableau 3–10. Poids spécifique du maïs-grain et probabilités d'impuretés....67
Tableau 3–11. Effet de la date de maturité des hybrides sur le rendement, la teneur en eau à la récolte et le bénéfice net dans trois zones du Michigan....67
Tableau 3–12. Dates recommandées pour cesser de semer des hybrides de pleine saison dans différentes zones d'unités thermiques de croissance....68
Tableau 3–13. Espacement des semences permettant d'atteindre diverses densités de peuplement....69
Tableau 3–14. Stades végétatifs du maïs....71
Tableau 3–15. Stades reproductifs du maïs....72
Tableau 3–16. Effet de la vitesse du semoir sur l'écart-type par rapport à l'espacement voulu, le peuplement et le rendement du maïs....73
Tableau 3–17. Rendement en grain prévu selon les dates de semis et les densités de peuplement....75
Tableau 3–18. Doses d'azote recommandées selon la quantité d'azote des nitrates....77
Tableau 3–19. Doses d'azote généralement recommandées pour une monoculture de maïs....78
Tableau 3–20. Doses d'azote recommandées pour le maïs compris dans une rotation....78
Tableau 3–21. Doses de phosphate et de potasse recommandées pour le maïs d'après les analyses reconnues par le MAAARO....79
Tableau 3–22. Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le maïs....81
Tableau 3–23. Températures maximales de l'air recommandées (°C et °F) pour le séchage du maïs destiné à diverses utilisations....83
Tableau 3–24. Teneur en eau d'équilibre (% à l'état humide) du maïs exposé à l'air selon la température et le taux d'humidité relative....84
Tableau 3–25. Comparaison des stades de croissance....85
Tableau 3–26. Pertes de rendement attribuables aux mauvaises herbes dans le maïs en fonction de densités de peuplement connues....86
Tableau 3–27. Symptômes dans le champ....89
Tableau 3–28. Risques estimatifs de baisse du rendement et de la qualité du maïs-grain associés aux dommages causés par le gel en fin de saison....110
Tableau 3–29. Pourcentage estimatif de pertes de rendement dans le maïs-grain par suite de la défoliation à divers stades de croissance....113

4. Soya

Tableau 4–1. Rendement du soya en fonction de divers systèmes de travail du sol....115
Tableau 4–2. Rendement des cultures de soya au Collège de Ridgetown de 1992 à 2000....116
Tableau 4–3. Incidence du travail du sol et de la gestion des résidus de blé sur le rendement du soya....116
Tableau 4–4. Rendement du soya en fonction de diverses rotations des cultures....117
Tableau 4–5. Précocité de maturité des cultivars de soya nécessitant 2 950, 3 050 et 3 150 unités thermiques de croissance....117
Tableau 4–6. Gains de rendement obtenus grâce à l'utilisation de différents types d'inoculants dans des champs servant pour la première fois à la culture du soya....120
Tableau 4–7. Incidence des dates de semis sur le rendement, la hauteur des plants et la maturité....121
Tableau 4–8. Influence de l'espacement des rangs sur le nombre de jours nécessaires à la formation du couvert (semis en mai)....122
Tableau 4–9. Incidence de l'espacement des rangs sur le rendement....122
Tableau 4–10. Taux de semis recommandés pour le soya....123
Tableau 4–11. Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits....124
Tableau 4–12. Stades végétatifs du soya....125
Tableau 4–13. Stades reproductifs du soya....126

TABLEAUX

Tableau 4–14 Doses de phosphate et de potasse recommandées pour le soya d'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO 130
Tableau 4–15. Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le soya 131
Tableau 4–16. Teneur en eau d'équilibre (% à l'état humide) du soya exposé à l'air selon la température et le taux d'humidité relative 134
Tableau 4–17. Perte de rendement du soya due aux mauvaises herbes 136
Tableau 4–18. Symptômes observés dans le champ 138
Tableau 4–19. Seuils d'intervention contre la cicadelle de la pomme de terre dans le soya à gousses comestibles (adultes et nymphes) 140
Tableau 4–20. Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs pour le soya 142
Tableau 4–21. Hôtes du nématode à kyste du soya (NKS) 150
Tableau 4–22. Risque de perte de rendement associé à différents niveaux de population de NKS 151
Tableau 4–23. Symptômes de la pourriture brune, du chancre de la tige et du syndrome de la mort subite sur les racines, les tiges et les feuilles du soya 153
Tableau 4–24. Pourcentage de perte de rendement des cultivars de soya indéterminés selon différents niveaux de pertes de feuilles et stades de croissance 155
Tableau 4–25. Dommages au soya dus à la gelée 155

5. Cultures fourragères

Tableau 5–1. Caractéristiques des espèces de fourrage vivaces cultivées en Ontario 161
Tableau 5–2. Caractéristiques des cultures fourragères annuelles en Ontario 166
Tableau 5–3. Mélanges recommandés pour le fourrage entreposé et le pâturage 168
Tableau 5–4. Taux de semis recommandés pour les peuplements de graminées purs 171
Tableau 5–5. Nombre approximatif de semences par unité de poids pour différentes espèces de fourrage 171
Tableau 5–6. Doses d'azote recommandées sur les cultures fourragères vivaces 174
Tableau 5–7. Recommandations relatives aux apports d'azote pour pâturages ou prairies de fauche améliorés 174
Tableau 5–8. Doses de phosphate recommandées pour les cultures fourragères, d'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO 175
Tableau 5–9. Doses de potasse recommandées pour les cultures fourragères, d'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO 176
Tableau 5–10. Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour la luzerne 177
Tableau 5–11. Digestibilité et teneur en protéines de la luzerne et du brome à divers stades de maturité 179
Tableau 5–12. Pertes potentielles à la fenaison 181
Tableau 5–13. Guide des teneurs en eau à l'entreposage 181
Tableau 5–14. Problèmes d'ensilage courants et leurs causes 187
Tableau 5–15. Symptômes observés dans le champ 191
Tableau 5–16. Minimum de plants sains par pied carré pour un bon peuplement de luzerne 204

6. Céréales

Tableau 6–1. Rendement du blé d'automne en fonction du système de travail du sol, 1986–1989 205
Tableau 6–2. Syndrome du rang de maïs 206
Tableau 6–3. Influence des doses d'engrais sur le rendement 207
Tableau 6–4. Caractéristiques de diverses classes de céréales 209
Tableau 6–5. Primes accordées pour la teneur en protéines des cultivars de blé vitreux roux d'automne et de blé de printemps 210
Tableau 6–6. Détermination du potentiel de rendement en fonction de différentes densités de peuplement 217
Tableau 6–7. Densités de peuplement recommandées pour les cultures céréalières 217
Tableau 6–8. Détermination du taux de semis 218
Tableau 6–9. Écartement des rangs de blé d'automne 219
Tableau 6–10. Besoins en azote des cultures céréalières 220
Tableau 6–11. Besoins en azote du blé de qualité pâtissière 220
Tableau 6–12. Fertilisation azotée recommandée pour l'orge de printemps selon la teneur du sol en azote de nitrates 221
Tableau 6–13. Pertes de rendement associées à de mauvais schémas d'épandage de l'azote 222
Tableau 6–14. Pertes de rendement associées à la brûlure des feuilles occasionnée par une application à la volée d'azote 28 % sur des céréales 222

Tableau 6–15. Doses de phosphate et de potasse recommandées dans les céréales d'après les résultats des analyses de sol reconnues par le MAAARO 223
Tableau 6–16. Interprétation des résultats d'analyse des tissus pour les cultures céréalières 224
Tableau 6–17. Influence de la vitesse de rotation du ventilateur sur le rendement du blé 226
Tableau 6–18. Débit d'air recommandé pour le séchage du blé à l'air ambiant et à basse température 227
Tableau 6–19. Températures maximales de l'air recommandées pour le séchage du blé de meunerie 228
Tableau 6–20. Teneur en eau d'équilibre du blé tendre d'automne exposé à l'air 229
Tableau 6–21. Répercussions des mauvaises herbes sur le rendement des céréales 229
Tableau 6–22. Symptômes dans le champ 232
Tableau 6–23. Comparaison des maladies causées par le virus du nanisme jaune de l'orge, le virus de la filosité panachée du blé et le virus *Polymyxa* de la mosaïque du blé 242

7. Haricots secs comestibles

Tableau 7–1. Rotation des cultures et rendements des haricots blancs 251
Tableau 7–2. Dates de semis recommandées 253
Tableau 7–3. Taux de semis recommandés pour les haricots blancs en fonction de l'écartement des rangs 253
Tableau 7–4. Doses recommandées de phosphate et de potasse pour les haricots secs comestibles, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO 255
Tableau 7–5. Interprétation des résultats de l'analyse des tissus de haricots secs 256
Tableau 7–6. Perte moyenne de haricots blancs en 1990 et 1991 258
Tableau 7–7. Symptômes observés dans le champ 261

8. Canola de printemps et canola d'automne

Tableau 8–1. Doses d'azote recommandées pour le canola de printemps 275
Tableau 8–2. Azote nécessaire au printemps au canola d'automne 275
Tableau 8–3. Doses recommandées de phosphate et de potasse pour le canola de printemps, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO 276
Tableau 8–4. Pourcentage de perte de rendement due à la destruction des ramifications pendant la floraison du canola 284

9. Autres cultures

Tableau 9–1. Doses recommandées de phosphate et de potasse pour le sarrasin et le lin, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO 287
Tableau 9–2. Besoins en azote du sarrasin, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO 288
Tableau 9–3. Doses recommandées de phosphate et de potasse pour les tournesols, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO 292

10. Gestion des grains entreposés

Tableau 10–1. Temps requis pour que le front d'aération atteigne la surface du grain 296
Tableau 10–2. Stratégies de lutte contre les insectes nuisibles des grains entreposés à la ferme 299

Figures

1. Dépistage et essais à la ferme

Figure 1-1 Schémas de dépistage 3
Figure 1-2 Orientation des traitements par rapport à la topographie du terrain 6
Figure 1-3 Emplacement des essais à la ferme en fonction des pratiques culturales des années précédentes 6
Figure 1-4 Orientation des traitements d'essai par rapport aux drains agricoles et aux autres sources possibles de variations 7
Figure 1-5 Sens des applications sur la parcelle d'essai pour réduire les variations inhérentes ou attribuables aux épandages 7
Figure 1-6 Trois dispositions possibles des parcelles d'essai 8

2. Gestion du sol et usage des fertilisants

Figure 2-1 Réduction des pertes de sol en fonction de différents pourcentages de résidus 17

3. Maïs

Figure 3-1 Unités thermiques disponibles pour la culture du maïs 66
Figure 3-2 Calendrier de dépistage des ennemis du maïs 88
Figure 3-3 Manque d'eau 112

4. Soya

Figure 4-1 Influence de la détérioration des semences sur leur vigueur et leur pouvoir germinatif 119
Figure 4-2 Champ à peuplement réduit 129
Figure 4-3 Test de trempage du soya à l'hypochlorite ... 133
Figure 4-4 Calendrier de dépistage des ennemis du soya 137
Figure 4-5 Tableau de défoliation du soya due aux insectes défoliateurs 142
Figure 4-6 Effet sur le rendement du soya de populations importantes et faibles de NKS dans des conditions de stress élevées et faibles 150
Figure 4-7 Rotation des cultures visant à maîtriser le NKS dans les champs infestés par la race 3 ou une combinaison des races 1 et 3 152

5. Cultures fourragères

Figure 5-1 Drainage du sol requis par les espèces de fourrage 167
Figure 5-2 Estimation des pertes de foin et d'ensilage préfané à la récolte et à l'entreposage 180
Figure 5-3 Calendrier de dépistage des ennemis des fourrages 190
Figure 5-4 Début de la période critique de récolte d'automne pour la luzerne 202
Figure 5-5 Rendement potentiel de la luzerne pour divers comptes de tiges 204

6. Céréales

Figure 6-1 Nombre de jours avant la levée en fonction de la profondeur de semis 213
Figure 6-2 Stades de croissance des céréales 214
Figure 6-3 Rendement du blé d'automne à l'échelle de la province de 1981 à 2000 215
Figure 6-4 Dates de semis optimales du blé d'automne en Ontario 216
Figure 6-5 Calendrier de dépistage des ennemis des cultures céréalières 231

7. Haricots secs comestibles

Figure 7-1 Calendrier de dépistage des ennemis des haricots secs comestibles 260
Figure 7-2 Pertes de rendement en fonction de la défoliation des petits haricots ronds blancs 263

8. Canola de printemps et canola d'automne

Figure 8-1 Calendrier de dépistage des ennemis du canola 279

Planches couleur

Maïs

Planche 1. Guide des carences nutritives 321
Planche 2. Semis à des profondeurs différentes 322
Planche 3. Feuilles de maïs violacées 322
Planche 4. Carence en potassium 322
Planche 5. Carence en azote 322
Planche 6. Carence en magnésium 322
Planche 7. Carence en zinc 322
Planche 8. Blessures causées par un engrais 323
Planche 9. Ver fil-de-fer (larve de taupin) 323
Planche 10. Larve du hanneton européen 323
Planche 11. Larve de noctuelle ipsilon (ver-gris noir) 323
Planche 12. Limaces 323
Planche 13. Chrysomèle occidentale des racines 324
Planche 14. Chrysomèle des racines du maïs 324
Planche 15. Masses d'œufs de la pyrale du maïs 324
Planche 16. Larves de la pyrale du maïs 324
Planche 17. Pyrale du maïs adulte 324
Planche 18. Larves de légionnaire uniponctuée 325
Planche 19. Dommages par la légionnaire d'automne 325
Planche 20. Ver de l'épi du maïs sur un épi 325
Planche 21. Altises du maïs 325
Planche 22. Larve de noctuelle de la pomme de terre 325
Planche 23. Pucerons du maïs 326
Planche 24. Nitidules 326
Planche 25. Anthracnose 326
Planche 26. Dessèchement 326
Planche 27. Kabatiellose 326
Planche 28. Flétrissement bactérien 326
Planche 29. Symptômes habituels de rouille 327
Planche 30. Charbon commun 327
Planche 31. Charbon des inflorescences 327
Planche 32. Anthracnose (pourriture de la tige) 327
Planche 33. Fusariose de la tige (*Gibberella*) 327
Planche 34. Fusariose de l'épi (*Gibberella*) 327
Planche 35. Pourriture fusarienne de l'épi 328
Planche 36. Maïs endommagé par le gel 328
Planche 37. Stress dû à la sécheresse 328
Planche 38. Dégâts causés par la grêle 328
Planche 39. Épis endommagés par des oiseaux 328
Planche 40. Blessure causée par la dinitroaniline 329
Planche 41. Blessure causée par le chloroacétamide 329
Planche 42. Blessure causée par l'isoxaflutole 329
Planche 43. Symptôme de la feuille d'oignon 329
Planche 44. Dommages causés par le dicamba 329
Planche 45. Blessure par un herbicide auxinique 329
Planche 46. Blessures causées par le bromoxynil 330
Planche 47. Taches par un inhibiteur de l'ALS 330
Planche 48. Antigraminée du groupe 1 330
Planche 49. Glufosinate-ammonium sur maïs 330

Soya

Planche 50. Stades VL et VC de la levée 330
Planche 51. Carence en potassium 330
Planche 52. Carence en manganèse 331
Planche 53. Larves de la mouche des légumineuses 331
Planche 54. Dommages par les limaces sur des graines 331
Planche 55. Feuilles endommagées par des limaces 331
Planche 56. Cicadelle de la pomme de terre 331
Planche 57. Pucerons du soya 332
Planche 58. Larves de la coccinelle 332
Planche 59. Tétranyques à deux points 332
Planche 60. Dégâts par le tétranyque à deux points 333
Planche 61. Adulte de la chrysomèle du haricot 333
Planche 62. Scarabée japonais 333
Planche 63. Pourridié fusarien 333
Planche 64. Pourridié phytophthoréen 333
Planche 65. Pourriture de la racine (rhizoctonie) 333
Planche 66. Pourriture phomopsienne (semences) 334
Planche 67. Brûlure phomopsienne (tiges et gousses) 334
Planche 68. Oïdium (blanc) 334
Planche 69. Mildiou 334
Planche 70. Moisissure blanche (*Sclerotinia*) 334
Planche 71. Moisissure blanche 335
Planche 72. Nématode à kyste 335
Planche 73. Kystes jaune-brun sur racines 335
Planche 74. Syndrome de la mort subite 335
Planche 75. Chancre de la tige 335
Planche 76. Mosaïque du soya 335
Planche 77. Mosaïque du soya sur graines 336
Planche 78. Blessures par le gel 336
Planche 79. Dommages par la grêle 336
Planche 80. Dommages par les triazines 336
Planche 81. Dommages par les triazines 336
Planche 82. Blessures par le chloroacétamide 336
Planche 83. Dommages par des herbicides auxiniques 337
Planche 84. Herbicides à base d'éther de diphényle 337
Planche 85. Dommages par le bentazone 337
Planche 86. Dommages par un inhibiteur de l'ALS 337

PLANCHES COULEUR

Cultures fourragères

Planche 87. Carence en potassium 337
Planche 88. Carence en bore 337
Planche 89. Charançon de la luzerne (adulte) 338
Planche 90. Larves du charançon de la luzerne 338
Planche 91. Dégâts par l'agromyze de la luzerne (larves) 338
Planche 92. Charançon postiche de la luzerne (adulte). 338
Planche 93. Charançon postiche de la luzerne (larve) ... 338
Planche 94. Cicadelle de la pomme de terre (dégâts) 338
Planche 95. Flétrissure verticillienne 339
Planche 96. Pourridié phytophthoréen 339
Planche 97. Pourriture fusarienne 339
Planche 98. Tache leptosphaerulinienne 339
Planche 99. Déchaussement des plants de luzerne 339

Céréales

Planche 100. Syndrome du rang de maïs 339
Planche 101. Verse due à un excès d'azote 340
Planche 102. Brûlure foliaire par un engrais NAU 340
Planche 103. Carence en manganèse (avoine) 340
Planche 104. Carence en manganèse (blé d'automne) 340
Planche 105. Pucerons du merisier à grappes 340
Planche 106. Larves de criocère des céréales 340
Planche 107. Larve de légionnaire uniponctuée. 341
Planche 108. Brûlures des semis 341
Planche 109. Piétin-échaudage 341
Planche 110. Tache ocellée 341
Planche 111. Moisissure des neiges 341
Planche 112. Rouille des feuilles 341
Planche 113. Rouille de la tige. 342
Planche 114. Nanisme jaune de l'orge 342
Planche 115. Nanisme jaune de l'orge. 342
Planche 116. Charbon nu 342
Planche 117. Blanc (oïdium) 342
Planche 118. Tache septorienne 343
Planche 119. Tache des glumes 343
Planche 120. Brûlure de l'épi (*Fusarium*) 343
Planche 121. Tache helminthosporienne 343
Planche 122. Rayure réticulée 343
Planche 123. Tache pâle 344
Planche 124. Déchaussement du blé d'automne 344
Planche 125. Dommages causés par l'atrazine 344
Planche 126. Surdose de glyphosate 344
Planche 127. Herbicide à base de bromoxynil 344

Haricots secs comestibles

Planche 128. Larves de noctuelle des légumineuses 344
Planche 129. Coccinelle mexicaine des haricots 345
Planche 130. Brûlure bactérienne 345
Planche 131. Anthracnose. 345
Planche 132. Pourriture des racines 345
Planche 133. Moisissure blanche (*Sclerotinia*) 345
Planche 134. Sclérotes de la moisissure blanche 345
Planche 135. Bronzage causé par l'ozone 346
Planche 136. Herbicide à base de quizalofop-p-éthyl 346
Planche 137. Dommages par un inhibiteur de l'ALS 346

Canola

Planche 138. Échaudage 346
Planche 139. Altises des crucifères. 346
Planche 140. Adulte de la fausse-teigne des crucifères 346
Planche 141. Larve de fausse-teigne des crucifères 347
Planche 142. Jambe noire sur feuilles 347
Planche 143. Jambe noire sur la tige. 347
Planche 144. Moisissure blanche (*Sclerotinia*) 347
Planche 145. Moisissure blanche sur des graines 347
Planche 146. Mosaïque du navet 347

Tournesol

Planche 147. Moisissure blanche 348

Gestion des grains entreposés

Planche 148. Dépistage à l'aide de pièges-sondes 348
Planche 149. Cucujide roux adulte 348
Planche 150. Pyrale indienne de la farine 348
Planche 151. Charançon du blé 348
Planche 152. Petit perceur des céréales 348

Introduction

Le présent guide se veut un ouvrage de référence fournissant de l'information détaillée sur les aspects production, lutte contre les ennemis des cultures, récolte et entreposage touchant les grandes cultures produites en Ontario. Ce document est beaucoup plus complet que la publication 296F, *Recommandations pour les grandes cultures*, qu'il remplace et qui ne sera pas réédité. Il s'agit donc de la première édition de cette publication.

Le chapitre 1 décrit les grandes méthodes d'observation sur le terrain et la façon de procéder à des essais à la ferme. Le chapitre 2 traite de divers aspects de la gestion du sol et de l'utilisation des fertilisants, qui sont communs à toutes les grandes cultures en Ontario. Les chapitres qui suivent sont consacrés à chacune des grandes cultures. On y traite des méthodes de travail du sol, du choix des cultivars, des semis, de la fertilisation, de la récolte, de l'entreposage, de la lutte contre les mauvaises herbes, des dommages causés par les ravageurs et les maladies, et des autres problèmes propres à chaque culture. Un dernier chapitre sur la gestion des grains entreposés porte spécifiquement sur l'entreposage convenable des récoltes et sur les ennemis des cultures entreposées. Le guide comprend des photos couleur destinées à faciliter le diagnostic.

Ce guide ne renferme pas de recommandations sur les produits à employer pour combattre les ravageurs, les maladies et les mauvaises herbes. Pour obtenir ce type d'information, le lecteur est invité à consulter les publications du MAAARO 812F, *Guide de protection des grandes cultures*,et 75F, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes.*

Des mises à jour de cette publication seront diffusées sur le site Web du MAAARO que voici : www.gov.on.ca/OMAFRA/french/index.html.

1. Dépistage et essais à la ferme

Dépistage

Le dépistage consiste à effectuer régulièrement de l'observation sur le terrain afin de définir avec exactitude quels facteurs nuisent au rendement durant la saison de croissance. Au moyen du dépistage, on obtient une image objective de l'état de la culture et de la présence d'organismes nuisibles dans un champ. Souvent, les éléments qui nuisent à la productivité d'un champ surviennent à l'improviste et le problème doit être corrigé rapidement si l'on veut préserver le plein potentiel de la culture.

Il faut au début de chaque saison consigner sur un formulaire semblable à celui de la page 11, des renseignements importants relatifs à la fertilité du sol et aux diverses opérations culturales. Cette information, conjuguée à l'observation périodique sur le terrain, à l'identification et au diagnostic des problèmes, ainsi qu'à la conservation de ces observations en dossier concourent au succès du programme de surveillance. Un formulaire de dépistage paraît en page 12. Les renseignements obtenus grâce au dépistage serviront à déterminer toute intervention nécessaire dans l'immédiat. L'information consignée permet également d'éliminer des problèmes dans les années à venir. Par exemple, une maladie, comme celle qu'apporte le nématode à kyste du soya, influe à la fois sur la rotation des cultures et le choix d'un cultivar lorsque l'on produit à nouveau du soya dans le même champ. Des dossiers exacts permettront de prendre les décisions nécessaires en présence de cette maladie.

Quand effectuer les opérations de dépistage

C'est en détectant rapidement les ennemis des cultures et en les éliminant que l'on réduit au minimum leur incidence économique sur la récolte. Dans cette publication, les chapitres consacrés aux différentes cultures donnent des calendriers de dépistage et indiquent la période de l'année associée aux ennemis des cultures les plus répandus en Ontario. L'observation sur le terrain doit se faire fréquemment et de façon suivie, car les dynamiques liées aux ravageurs peuvent changer rapidement pendant la saison. Comme il faut une densité de peuplement optimale pour obtenir de bons rendements, procéder à une évaluation de la densité de peuplement en deçà de 1–2 semaines de la levée.

Tôt en saison, effectuer le dépistage chaque semaine. Dès que l'on s'approche d'un seuil d'intervention nécessitant, par exemple, un traitement de fongicides ou d'herbicides de postlevée, il faudra peut-être effectuer un dépistage chaque jour. Plus tard en saison, un dépistage aux deux semaines est généralement suffisant. Il faut se rappeler que certains insectes et certaines maladies se répandent plus tard en saison et peuvent atteindre des seuils d'intervention en quelques jours. Parmi ces ennemis des cultures, il faut noter la légionnaire, la sauterelle et les pourritures de la tige. Lorsque les conditions et le terrain favorisent ces ennemis de fin de saison, il faut continuer le dépistage de façon hebdomadaire.

Outils et techniques de dépistage

Les outils servant à surveiller les ennemis des cultures et la croissance des cultures varient selon la culture et l'ennemi en cause. Voici le matériel de base nécessaire au dépistage :

- une planchette à pinces et des formulaires de dépistage ou un calepin;
- des cartes du terrain;
- une pelle;
- un canif;
- des sacs en papier et en plastique pour y déposer des spécimens;
- une loupe simple 10X et un cadre d'échantillonnage (p. ex., un cerceau).

Parmi les autres articles utiles, il faut noter des photos aériennes, un appareil photo, des étiquettes pour l'identification, un filet fauchoir, des petits flacons et de l'isopropanol, des plaquettes adhésives ou des pièges encollés pour la détection des insectes nuisibles, un système GPS pour indiquer l'emplacement, du matériel pour le balisage, etc. Il est aussi recommandé de porter des vêtements adéquats afin de se protéger du soleil et des éléments nuisibles comme les plantes vénéneuses et les maringouins. Il faut être prudent s'il y a eu récemment des traitements de pesticides sur le terrain et se conformer aux délais indiqués sur les étiquettes des produits avant de circuler dans le champ.

Si l'on tente de dépister des insectes se déplaçant trop rapidement dans le feuillage pour être détectés au premier coup d'oeil, il faut utiliser le filet fauchoir ou une toile. On peut étendre la toile sur le sol entre deux

Tableau 1–1.
Nombre de points d'échantillonnage recommandés selon la taille du terrain et le ravageur

Taille du terrain		Nombre de points d'échantillonnage	
(hectares)	(acres)	Insectes/ maladies	Mauvaises herbes
Jusqu'à 8	Jusqu'à 20	5	10
8 à 12	20 à 30	8	15
12 à 16	30 à 40	10	15

rangs, saisir la culture pour la ramener au-dessus de la toile et la secouer vigoureusement afin que tous les insectes de la plante se retrouvent sur la toile. Les insectes sont alors facilement identifiés et dénombrés.

Le filet fauchoir constitue la meilleure méthode de dépistage à utiliser dans une culture dense comme celles de la luzerne et du soya. On peut trouver des filets fauchoirs d'un diamètre de 37 cm (15 po) auprès des divers fournisseurs qui paraissent sur la liste de l'annexe A, *Fournisseurs de matériel pour le dépistage d'insectes*, p. 303. Tout en marchant dans le feuillage, balancer le filet d'un côté à l'autre comme un pendule, au-dessus du feuillage, afin que le sommet du filet se retrouve dans la partie supérieure du feuillage. Éviter de recueillir de la saleté dans le filet en ne plantant pas ce dernier dans le sol lors du mouvement de va-et-vient. On compte un balayage lorsque le filet est basculé d'un côté puis ramené en position initiale (p. ex., un mouvement de droite à gauche, puis à droite à nouveau pour obtenir un mouvement de balayage). Après 20 balayages, refermer rapidement le sommet du filet en le saisissant juste sous l'ouverture. Ouvrir lentement le filet, en extraire tout débris de plante et dénombrer les insectes qui ont été capturés. Même si les filets ne permettent pas d'obtenir de nombre absolu, ils permettent quand même d'évaluer le nombre d'insectes, s'il faut rapidement détecter la présence d'un insecte en particulier.

Nombre de points d'échantillonnage

Pour faire du dépistage, il faut parcourir un champ à pied et faire quelques arrêts pour effectuer des observations sur le terrain. La taille du champ, la culture et le type d'ennemis des cultures sont autant de facteurs qui influent sur le nombre de points d'échantillonnage nécessaires. Le tableau 1–1, *Nombre de points d'échantillonnage recommandés selon la taille du terrain et le ravageur*, ci-dessus, indique, de façon générale, le nombre nécessaire de points d'échantillonnage selon la taille du terrain. Aux fins du dépistage, les champs d'une superficie supérieure à 16 ha (40 acres) devraient être divisés en unités de 16 ha (40 acres) ou moins.

Schéma de dépistage

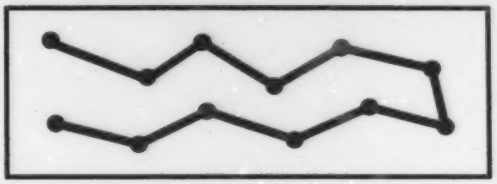
Il faut tenir compte de certains facteurs pour déterminer quel schéma de dépistage adopter dans un champ.

- Il faut un schéma de dépistage qui tienne compte des changements de cultivars ou d'hybrides, du type de sol, des cultures antérieures, de l'application de fumier ou d'engrais et de tout autre facteur influant sur la croissance végétale. Il faut s'assurer que le schéma couvre toutes les parties du terrain et il convient de le modifier à chaque opération de dépistage. Voir figure 1–1, *Schémas de dépistage*, p. 3.
- Les points d'échantillonnage doivent être choisis au hasard toujours selon un schéma aléatoire prédéterminé, par opposition à des facteurs comme l'apparence des cultures.
- Commencer le dépistage au moins 20 m (66 pi) à l'intérieur du périmètre du champ. Le schéma de dépistage ne devrait pas toucher les rangs en bordure et les tournières du champ à moins d'avoir une raison précise d'échantillonner ces secteurs.

Déterminer la densité de peuplement de la culture et les niveaux d'infestation des ravageurs

On peut déterminer la densité de peuplement de la culture et certains niveaux d'infestation en effectuant un décompte dans un secteur d'une dimension donnée puis en multipliant ce nombre par un facteur pour obtenir la population par acre. Pour les cultures en rangs, on peut calculer la densité de peuplement en comptant le nombre de plants dans un millième d'un acre, puis en multipliant le résultat par 1 000 pour obtenir le nombre de plants par acre. Le tableau 1–2, *Longueur de rang nécessaire pour obtenir un millième de un acre selon la largeur des rangs*, p. 3, donne la longueur de rang qui équivaut à un millième de un acre selon les diverses largeurs de rangs.

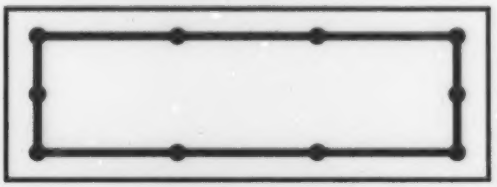
Pour déterminer la densité de peuplement des cultures à rangs étroits ou le degré d'infestation par les mauvaises herbes, il faut déposer un cadre d'échantillonnage sur le sol pour effectuer le dénombrement. On peut utiliser un cadre carré (p. ex., 50 cm x 50 cm = 0,25 m^2) ou un cadre circulaire (p. ex., un cerceau). La méthode du « cerceau » est illustrée au tableau 1–3, *Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations de ravageurs à l'aide d'un « cerceau »*, p. 4. Au moyen de ce tableau, on peut déterminer le nombre de plants/hectare (plants/



Ravageurs uniformément disséminés sur le terrain

S'il s'agit de détecter des ravageurs ou des problèmes que l'on soupçonne d'être uniformément distribués ou dont le schéma de distribution est inconnu, répartir les points d'échantillonnage uniformément tel qu'il est illustré plus haut. Ce schéma vaut aussi pour les points d'échantillonnage du sol.

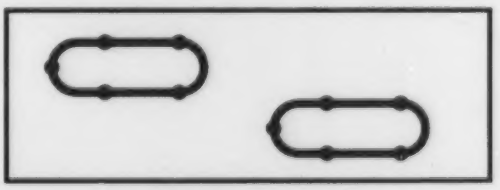
Ce schéma de dépistage s'applique aux ennemis des cultures dont la chrysomèle des racines du maïs, la pyrale du maïs et les pourritures de la tige.



Ravageurs présents dans les tournières et les rangs extérieurs

S'il s'agit de détecter des ravageurs ou des problèmes soupçonnés de se manifester dans les tournières ou les rangs extérieurs, répartir les points d'échantillonnage uniformément autour du champ, tel qu'il est illustré plus haut.

Parmi les ennemis des cultures et les problèmes auxquels ce schéma de dépistage convient, il faut noter la légionnaire, les tétranyques et le compactage du sol.



Dépistage des ravageurs dans des zones spécifiques du terrain

Si l'on recherche des ravageurs ou des problèmes soupçonnés de se situer dans certaines portions du terrain, il faut concentrer les points d'échantillonnage dans ces secteurs, tel qu'il est illustré ci-dessus.

Parmi les ennemis des cultures auxquels ce schéma de dépistage convient, il faut noter le pourridié phytophthoréen dans les sols argileux humides et la noctuelle ipsilon dans les zones herbeuses.

Figure 1–1.
Schémas de dépistage

Tableau 1–2.
Longueur de rang nécessaire pour obtenir un millième de un acre[1] selon la largeur des rangs

Largeur des rangs		Longueur de rang équivalant à 1/1 000 acre	
centimètres	pouces	mètres	pieds
38	15	10,6	34 pi 10 po
51	20	8,0	26 pi 1 po
56	22	7,3	23 pi 10 po
71	28	5,7	18 pi 8 po
76	30	5,3	17 pi 5 po
81	32	5,0	16 pi 4 po
86	34	4,7	15 pi 5 po
91	36	4,4	14 pi 6 po
97	38	4,2	13 pi 9 po

[1] Pour obtenir le nombre de plants par hectare, multiplier le nombre de plants à l'acre par 2 470.

acre) en mesurant le diamètre du cerceau, en comptant le nombre de plants qui s'y trouvent et en multipliant par le facteur donné pour le diamètre interne du cerceau.

Bien des seuils d'intervention sont exprimés en termes de nombre moyen d'insectes par plant, par balayage, par mètre carré ou par pied linéaire de rang. Certains peuvent être basés sur le taux de défoliation ou de dommages. Indépendamment de la méthode utilisée, il faut faire au moins dix décomptes aléatoires par champ pour déterminer les populations moyennes.

Dossier des observations sur le terrain

Les résultats du dépistage sont essentiels pour déterminer le choix des méthodes de lutte à employer maintenant et plus tard. Avec un formulaire de dépistage sur le terrain, il devient facile de noter et d'uniformiser les observations. Une fois consignées, les données de dépistage peuvent être versées au dossier du champ. Il existe également un logiciel permettant de consigner et de traiter les données provenant des observations sur le terrain.

Parmi les renseignements à consigner, on note :

- emplacement du champ et date du dépistage;
- stade de croissance et état de la culture;
- cultivars et hybrides semés, et s'ils sont résistants ou transgéniques;
- dates des stades phénologiques;
- conditions météorologiques;

Tableau 1–3.
Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations de ravageurs à l'aide d'un « cerceau »

Diamètre intérieur du cerceau en centimètres (pouces)	Superficie en m^2 (pi^2)	Facteur par lequel multiplier le nombre de plants à l'intérieur du cerceau pour obtenir le :	
		Nombre de plants par hectare	Nombre de plants par acre
91 (36)	0,65 (7,0)	15 385	6 165
84 (33)	0,55 (6,0)	18 182	7 334
76 (30)	0,45 (4,9)	22 222	8 874
69 (27)	0,37 (4,0)	27 027	10 956
61 (24)	0,29 (3,2)	34 483	13 865

- conditions de sol;
- mauvaises herbes présentes, leur emplacement et leur densité de peuplement;
- maladies présentes, leur emplacement et le nombre de plants infectés;
- insectes présents, leur emplacement et leurs populations;
- dommages à la culture;
- carte du terrain;
- résultat du dépistage effectué;
- mesures correctives nécessaires.

Manutention des échantillons et soumission pour identification ou diagnostic

Il peut être difficile d'identifier les ennemis des cultures ou certains problèmes. Aussi, peut-on avoir besoin d'aide ou d'un diagnostic. Il s'agit alors de transmettre des échantillons à des laboratoires de diagnostic pour les faire analyser. Pour plus de renseignements sur la façon correcte de prélever les échantillons, l'endroit où se procurer les formulaires de soumission des échantillons et les frais de diagnostic, voir l'annexe L, *Service de diagnostic*, p. 314.

Utilisation des degrés-jours (DJ) et des unités thermiques de croissance (UTC)

Degrés-jours

Les degrés-jours, ou DJ, servent à évaluer la croissance et le développement des végétaux et des insectes durant la saison de croissance. La croissance des insectes et des végétaux dépend beaucoup de la température. Au fin et à mesure de la croissance d'un organisme pendant la saison, son développement est intimement lié à l'accumulation quotidienne de chaleur. Il doit recevoir une somme d'énergie suffisante prodiguée par une certaine quantité de chaleur pour atteindre le stade de croissance suivant, par exemple, la sortie d'une nouvelle feuille sur un plant de maïs ou le premier vol de la pyrale du maïs. La quantité de chaleur nécessaire pour passer au stade de croissance suivant reste constante d'une année à l'autre, mais selon les conditions atmosphériques, le temps écoulé peut varier. À chaque organisme est associé une température de base minimale ou un seuil sous lequel il n'y a pas de croissance. Ces températures de base ont été déterminées de façon expérimentale et diffèrent selon l'organisme. Les DJ sont très utiles pour prévoir la croissance de la culture et celle des insectes.

Pour calculer les DJ d'une journée, il faut d'abord déterminer la température moyenne de la journée. Pour ce faire, on additionne généralement les températures minimale et maximale de la journée et on divise la somme par deux. On soustrait ensuite la température de base de la température moyenne pour obtenir la valeur de DJ quotidienne. Si la valeur de DJ quotidienne obtenue est négative, on l'arrondit à zéro. Toutes les valeurs de DJ quotidiennes sont additionnées (accumulées) pendant la saison de croissance.

En Ontario, on utilise encore pour certaines cultures le système de DJ alors que pour d'autres, on a recours au système des unités thermiques de croissance décrit à la rubrique suivante. Les cultures pour lesquelles on utilise encore le système de DJ sont les céréales (base : 0), la luzerne (base : 5) et le canola (base : 5).

Une confusion est née avec les années quant à la terminologie des degrés-jours. En Ontario, les expressions « degrés-jours » (DJ) et « unités thermiques de croissance » (UTC) sont utilisées, mais elles représentent deux modèles de croissance très différents liés à la température. Le calcul des unités thermiques de croissance maintenant en usage en Ontario est identique au calcul traditionnel des unités thermiques-maïs, mais le nom générique reflète son application élargie à d'autres cultures. En agriculture, les « degrés-jours » sont parfois appelés « degrés-jours de croissance ». Certaines réglementations utilisent de façon interchangeable « unités thermiques de croissance » et « degrés-jours ».

Unités thermiques de croissance

Les unités thermiques de croissance (UTC), parfois appelées simplement unités thermiques (UT), reposent sur un principe semblable à celui des degrés-jours. Les UTC sont calculées sur une base quotidienne, à l'aide des températures minimale et

Équation pour obtenir les degrés-jours

L'équation de DJ en usage au MAARO se lit comme suit :

$$\text{Valeur de DJ quotidienne} = \frac{\text{Tmax} + \text{Tmin}}{2} - \text{Tbase}$$, où :

Tmax = la température maximale quotidienne de l'air

Tmin = la température minimale quotidienne de l'air

Tbase = la température de base aux fins du calcul des DJ pour l'organisme sous observation

Exemple

Température maximale : 28 °C

Température minimale : 15 °C

Ravageur : pyrale du maïs

Température de base : 10

Calcul

$$\text{Valeur de DJ quotidienne} = \frac{28 + 15}{2} - 10 = 11,5$$

Par conséquent, le nombre de DJ accumulés au cours de cette journée, selon le modèle des DJ applicable à la pyrale du maïs, est de 11,5.

Il faut tenir compte de quatre facteurs pour comparer les accumulations de DJ provenant de sources ou de régions diverses.

1. **Les températures de base utilisées dans les équations sont-elles les mêmes?**

Les températures de base utilisées pour calculer les DJ varient selon les organismes. Ainsi, 150 DJ pour une Tbase de 10 n'égalent pas 150 DJ pour une Tbase de 0.

2. **Les DJ commencent-ils toujours à s'accumuler à la même date?**

De façon générale, les DJ commencent à s'accumuler le 1er avril de chaque année. Toutefois, dans le cadre des modèles de DJ applicables à certains insectes, les DJ commencent à s'accumuler à partir d'un repère biologique (*biofix*) précis, qui correspond à l'apparition d'un stade biologique particulier.

3. **Les équations servant au calcul de la valeur de DJ quotidienne sont-elles les mêmes?**

Avec les années, de nombreuses modifications au calcul simple des DJ ont été élaborées et sont également appelées degrés-jours.

4. **Les températures sont-elles en degrés Celsius ou en Fahrenheit?**

Les accumulations de DJ varient de façon importante, selon qu'elles sont exprimées en degrés Celsius ou en degrés Fahrenheit. On a conçu les modèles de DJ spécifiquement pour être utilisés dans un système ou dans l'autre, de telle sorte que le passage d'un système à l'autre oblige à faire des conversions.

Calcul des valeurs d'UTC quotidiennes

L'équation suivante sert au calcul de la valeur d'UTC quotidienne pour un lieu donné :

$$\text{Valeur d'UTC quotidienne} = \frac{\text{Ymax} + \text{Ymin}}{2}$$, où :

$\text{Ymax} = (3,33 \times [\text{Tmax} - 10,0]) - (0,084 \times [\text{Tmax} - 10,0]^2)$
(Si les valeurs sont négatives, ramener à 0)

Tmax = Température maximale quotidienne de l'air (°C)
(mesurée de minuit à minuit)
(L'exactitude devrait être < 0,25 °C)

$\text{Ymin} = (1,8 \times [\text{Tmin} - 4,4])$
(Si les valeurs sont négatives, ramener à 0)

Tmin = Température minimale quotidienne (°C)

maximale, selon une équation passablement différente. On effectue des calculs distincts pour les températures maximales et les températures minimales. On utilise 10 °C (50 °F) comme température de base pour la température de jour ou température maximale, et 30 °C (86 °F) comme température optimale parce que les cultures de saison chaude ne connaissent aucune croissance si les températures sont inférieures à 10 °C et connaissent leur croissance la plus rapide à environ 30 °C. On utilise 4,4 °C (40 °F) comme température de base pour la température de nuit ou température minimale et on ne spécifie aucune température optimale, car les températures minimales de nuit dépassent très rarement les 25 °C (77 °F) en Ontario. La température de nuit est considérée comme un facteur linéaire, tandis que la température de jour est considérée comme un facteur non linéaire du fait que la croissance des cultures est optimale à 30 °C (86 °F) et commence à ralentir à des températures plus élevées. Les unités thermiques de croissance quotidiennes sont calculées en utilisant les moyennes des deux valeurs quotidiennes tirées des équations ci-dessous ou peuvent être obtenues à partir de la matrice du tableau 3-8, *Accumulations quotidiennes d'unités thermiques de croissance en fonction des températures maximales et minimales*, p. 64.

Pour plus de renseignements sur les unités thermiques de croissance, consulter la fiche technique du MAARO, *Unités thermiques de croissance disponibles en Ontario pour la culture du maïs et d'autres espèces exigeantes en chaleur*, commande n° 93-120, ou visiter le site Web du MAARO à l'adresse www.gov.on.ca/OMAFRA/french/index.html.

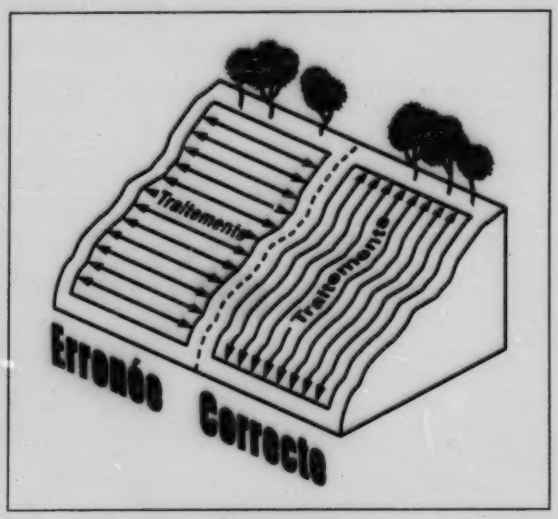


Figure 1–2.
Orientation des traitements par rapport à la topographie du terrain

Essais à la ferme

En effectuant des essais à la ferme de nouvelles techniques de production, les producteurs ont l'occasion d'évaluer de nouvelles méthodes dans un milieu contrôlé sans devoir y consacrer des coûts énormes ni de grandes superficies. De cette manière, ils peuvent constater quelles nouvelles techniques conviennent le mieux à chaque exploitation agricole. Les renseignements qui suivent fournissent un cadre de travail permettant d'évaluer de nouvelles techniques et de les comparer aux méthodes actuelles.

Il est possible d'effectuer simplement une comparaison des technologies nouvelles avec celles en usage sur la ferme en normalisant les parcelles d'essai et leur disposition. La normalisation des parcelles d'essai favorise l'implantation, la collecte et l'analyse des données, et réduit éventuellement les variations ou le taux d'erreur pouvant survenir dans des essais à l'échelle du champ.

Choix de l'emplacement pour réduire la variabilité

Positionnement des parcelles d'essai

Si à l'inspection visuelle, un point du champ présente manifestement une différence au niveau de l'élévation, d'autres caractéristiques topographiques ou du type de sol, il vaut mieux positionner les parcelles d'essai ailleurs (voir figure 1–2, *Orientation des traitements par rapport à la topographie du terrain*, ci-dessus).

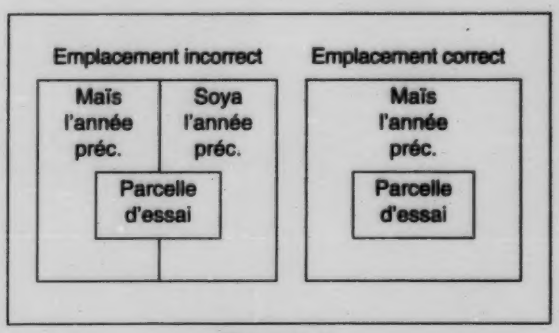


Figure 1–3.
Emplacement des essais à la ferme en fonction des pratiques culturales des années précédentes

Les parcelles d'essai devraient toutes être situées dans des champs où, les années précédentes, elles formaient un tout avec l'ensemble du champ (voir figure 1–3, *Emplacement des essais à la ferme en fonction des pratiques culturales des années précédentes*, ci-dessus). Le site choisi pour la parcelle doit donc avoir fait l'objet de la même culture, reçu le même herbicide, avoir eu le même degré de fertilité, été soumis au même programme d'épandage de fumier et aux mêmes pratiques culturales. On s'assure ainsi qu'aucune variation imputable aux années précédentes ne viendra influencer les résultats de l'année en cours.

Orientation des parcelles d'essai

Dans le mesure du possible, les parcelles d'essai devraient être situées perpendiculairement aux sources connues de variations potentielles, comme les drains agricoles, les dérayures de labour, les ravines ou les affaissements qui traversent la parcelle d'essai, tel qu'il est illustré à la figure 1–4, *Orientation des traitements d'essai par rapport aux drains agricoles et aux autres sources possibles de variations*, p. 7. Le but est de réduire les variations sur l'ensemble de la parcelle et, lorsque ce n'est pas possible, de les maintenir constantes dans tous les traitements. Autrement, les variations peuvent être présentes lors d'un seul ou de quelques traitements, faussant ainsi les résultats. Ceci dit, il n'est pas toujours possible d'éliminer les variations.

Quand c'est possible, il faut effectuer les épandages d'herbicide, d'engrais ou d'autres intrants sur la parcelle d'essai de façon perpendiculaire à la direction des traitements, comme le démontre la figure 1–5, *Sens des applications sur la parcelle d'essai pour réduire les variations inhérentes ou attribuables aux épandages*, p. 7. Si ce n'est pas possible, faire l'application sur toute la parcelle d'essai avec le plus de précision possible. On réduit ainsi la possibilité de variations au sein de la parcelle d'essai, qui pourraient être attribuables au fait qu'un ou plusieurs

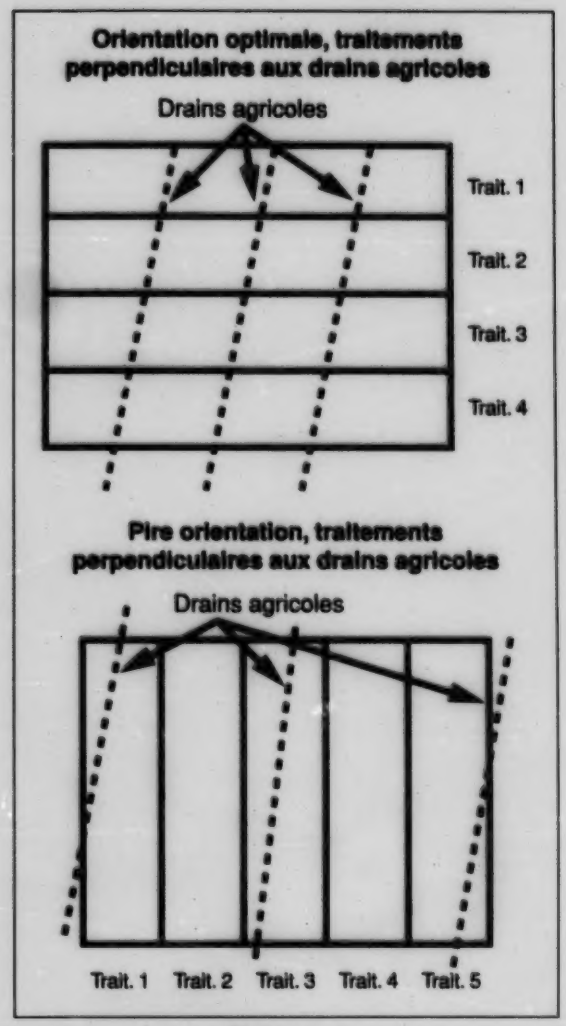


Figure 1–4.
Orientation des traitements d'essai par rapport aux drains agricoles et aux autres sources possibles de variations

traitements ont été effectués avec une quantité d'engrais différente ou une dose d'herbicide différente, par exemple, de celle des traitements adjacents. En effectuant les applications de façon perpendiculaire au traitement, tous les traitements présentent les mêmes possibilités d'erreur d'épandage. L'objectif ici est de réduire les variations de traitement sur l'ensemble de la parcelle afin que les différences observées soient réelles et ne découlent pas d'une variation sous-jacente.

Conception des essais

Les essais qui comportent peu de traitements et plus de répétitions offrent de meilleurs résultats car ils réduisent les possibilités de variations. Les

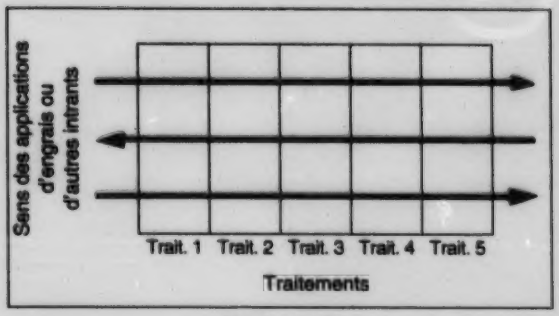


Figure 1–5.
Sens des applications sur la parcelle d'essai pour réduire les variations inhérentes ou attribuables aux épandages

traitements présentant trois ou quatre répétitions sont à privilégier au détriment des essais en comportant une seule si l'on veut réduire les variations. Lorsqu'il n'est pas possible de répéter les parcelles d'essai, le fait de doubler un traitement simple sur la parcelle permet d'évaluer les variations présentes sur une parcelle donnée.

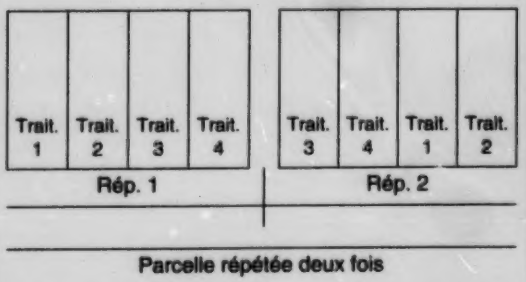
Il est avantageux de positionner la parcelle d'essai au milieu d'un champ. On réduit ainsi les risques de variations comme le compactage, les mauvaises herbes et le changement de pH du sol, qui peuvent être présents en bordure du champ. Aussi, si la parcelle d'essai est située au milieu d'un champ, la bordure de celle-ci peut servir de bande d'essai pour la parcelle (voir la troisième disposition des parcelles d'essai à la figure 1–6, *Trois dispositions possibles des parcelles d'essai*, p. 8). Un seul traitement équivalant au programme global pour le champ (témoin) peut alors être inclus au milieu de l'essai, fournissant ainsi trois bandes témoins pour évaluer les variations au sein de la parcelle d'essai.

Selon le type de parcelle d'essai qui est prévu, il faudra peut-être tenir compte des effets potentiels des pourtours de la parcelle. Celle-ci doit être suffisamment large pour que la zone d'un traitement individuel où les évaluations seront effectuées ne soit pas influencée par les traitements adjacents.

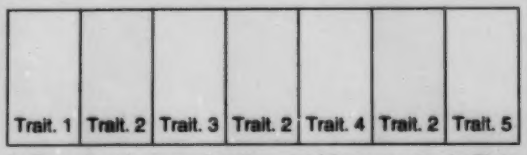
La disposition des parcelles utilisées pour les essais à la ferme est importante si l'on veut s'assurer de la pertinence des données qui sont recueillies, interprétées et colligées dans un rapport.

Choix des traitements

Il faut que les essais à la ferme restent simples. Il vaut mieux comparer un petit nombre de traitements qui fournissent une réponse à un



1. Parcelle répétée deux fois où tous les traitements sont répétés. Les parcelles peuvent être côte à côte ou l'une derrière l'autre. Cette disposition peut être multipliée pour obtenir trois ou quatre répétitions.



2. Parcelle où un seul traitement (dans ce cas, le 2) se répète entre chaque traitement pour fournir une mesure de la variabilité du champ.

3. Dans cette disposition, la parcelle témoin est reprise aux extrémités et au milieu. On obtient ainsi une estimation de la variabilité présente partout dans le champ puisque le rendement ou le résultat du traitement des parcelles témoins peut être comparé et permettre de constater l'uniformité à la largeur de la zone d'essai. Si les résultats de ces traitements varient considérablement, il conviendra peut-être de ne pas en tenir compte, la variabilité étant alors trop élevée.

Figure 1–6.
Trois dispositions possibles des parcelles d'essai

nombre limité de questions. Plus un essai vise à répondre à un grand nombre de questions, plus il est difficile de définir les effets directs du traitement. Les traitements devraient s'employer à comparer avec exactitude des technologies ou méthodes nouvelles avec celles qui sont existantes. Il faut élaborer les essais avec soin pour s'assurer qu'ils répondent aux questions qui sont posées. Il faut aussi veiller à ce que les traitements choisis puissent répondre à ces questions.

Il faut définir dès le départ les types de renseignements que l'on souhaite recueillir au moyen de l'essai. Dès le début, il faut savoir quelles données doivent être recueillies, comment effectuer les évaluations et quand consigner les données.

Les parcelles d'essai doivent être le plus uniformes possible. Il importe d'en connaître les mesures exactes, surtout la zone d'échantillonnage ou la zone de récolte. L'échantillonnage doit être uniforme d'une parcelle d'essai à l'autre et devrait être effectué sur toutes les parcelles d'essai le plus rapidement possible. Lorsqu'un essai à la ferme fait partie d'un projet plus vaste réparti en plusieurs endroits, il faut dans la mesure du possible utiliser le même matériel et les mêmes intrants. On élimine ainsi la possibilité que la source de l'intrant, le matériel ou le travail du champ ne contribue à introduire des variations dans les résultats des essais.

Collecte des données

Dès le début de l'essai, il faut déterminer quelles données seront consignées et s'efforcer de les consigner correctement, en temps opportun. Le type de collecte effectuée et le moment peuvent varier selon la nature de l'essai.

Puisque de nombreuses recherches à la ferme et de nombreux essais de démonstration touchent principalement l'incidence de divers traitements sur le rendement, il faut définir clairement la méthode de récolte et le matériel approprié de même que le personnel qui effectue la collecte des données.

> Il importe de maintenir une bonne communication entre les personnes qui travaillent aux essais afin de s'assurer de ne pas perdre le fruit du travail d'une saison entière parce que le personnel nécessaire ou une remorque peseuse ne sont pas sur place en même temps que la moissonneuse-batteuse.

De façon générale, pour un essai à la ferme, voici les données à consigner :

- date des semis;
- date de la récolte;
- cultivar ou hybride;
- dates d'évaluation/d'échantillonnage (tissus, échantillons de sol, hauteur des plants, dates des divers stades phénologiques);
- type de sol, condition du sol au moment des semis;
- méthode de travail du sol utilisée;
- quantité et type d'engrais, moment et méthode de traitement;
- programme de lutte contre les mauvaises herbes ou intrants utilisés;

Exemple de variabilité dans des bandes d'essai

Les tableaux suivants donnent des exemples de récoltes d'hybrides sur des bandes d'essai où l'importance de la variabilité est différente malgré que les rendements moyens soient les mêmes dans toutes les parcelles témoins.

Disposition d'une parcelle servant à des bandes d'essais types d'hybrides de maïs

Essais	←Hybrides→								
	TÉM. 1 t/ha (bo/ac)	A	B	C	TÉM. 2 t/ha (bo/ac)	D	E	F	TÉM. 3 t/ha (bo/ac)
Exemple 1	7,03 (112)				7,97 (127)				6,65 (106)
Exemple 2	8,28 (132)				6,34 (101)				7,03 (112)
Exemple 3	7,15 (114)				6,96 (111)				7,53 (120)

Exemple de calcul servant à déterminer si la variabilité au sein de la parcelle est en deçà de limites acceptables

	Exemple 1		Exemple 2		Exemple 3	
	t/ha	bo/ac	t/ha	bo/ac	t/ha	bo/ac
Rendement 1	7,03	112	8,28	132	7,15	114
Rendement 2	7,97	127	6,34	101	6,96	111
Rendement 3	6,65	106	7,03	112	7,53	120
Rendement total	21,65/3	345/3	21,65/3	345/3	21,65/3	345/3
Rendement moyen	7,21	115	7,21	115	7,21	115
Intervalle (10 %)[1]	6,49 à 7,93	103,5 à 126,5	6,49 à 7,93	103,5 à 126,5	6,49 à 7,93	103,5 à 126,5
Acceptable (O/N)	non	non	non	non	oui	oui

[1] Calcul de l'intervalle par rapport au rendement moyen : t/ha : 7,21 x 0,9 = 6,49 et 7,21 x 1,1 = 7,93
bo/ac : 115 x 0,9 = 103,5 et 115 x 1,1 = 126,5

Ici, les exemples 1 et 2 démontrent une variabilité trop grande durant l'essai, de telle sorte que les données seront rejetées. Dans l'exemple 3, les rendements de la parcelle témoin sont tous en deçà d'un intervalle de 10 % du rendement moyen, ce qui laisse supposer une variation minime ou distribuée uniformément sur la parcelle d'essai. Ces données seraient par conséquent acceptables. Les différences constatées entre les hybrides de la bande d'essai seraient considérées comme réelles.

- température quotidienne (minimale et maximale);
- pluie;
- remarques au sujet des facteurs pédologiques qui pourraient causer des variations dans la parcelle d'essai.

On peut trouver de l'information et des formulaires modèles sur la façon d'effectuer des recherches à la ferme et des essais de démonstration sur les sites Web du MAAARO à l'adresse www.gov.on.ca/OMAFRA/french/index.html.

Il faut toujours dresser une carte des parcelles d'essai montrant le type et le lieu des traitements, ce qui est toujours pratique pour le producteur et toute personne qui l'aide. Il faut y inclure les distances des bornes permanentes comme les haies-clôtures, les bâtiments, les arbres, etc. Il faut aussi en indiquer l'orientation. Voir des exemples de formulaires à la fin du présent manuel.

Évaluation des données

Lors des essais, il faut des parcelles témoins permettant de déterminer la variabilité. Il faut revoir les résultats des essais à la lumière des variations dans la parcelle d'essai. Les variations lors d'un essai proviennent du type de sol, de la fertilité, de la topographie, du drainage et d'autres facteurs qui ne se présentent pas uniformément à la grandeur des essais. Par conséquent, une différence dans les résultats des traitements (p. ex., rendement) peut être partiellement attribuable à une variation aléatoire dans la zone d'essai et non seulement à la différence entre les traitements (p. ex., hybride).

ESSAIS À LA FERME

En comparant l'importance de la variabilité entre les parcelles témoins lors d'un essai, on peut déterminer si les différences observées au niveau des traitements proviennent réellement des traitements (p. ex., hybrides) et non de un ou plusieurs facteurs non reliés, comme la fertilité, le drainage, etc.

Si la différence de rendement (ou d'un autre paramètre qui est évalué) entre les parcelles témoins est supérieure à ± 10 % par rapport à la moyenne des parcelles témoins, la variabilité est probablement trop grande et il est préférable de ne pas tenir compte de ces résultats.

Si à la relecture des données d'un essai, la différence de rendement entre deux traitements (p. ex., hybrides) est moindre que la différence la plus élevée entre les parcelles témoins, il est alors improbable que les traitements (p. ex., hybrides) soient différents.

Exemples de différences de rendement entre deux traitements (hybrides A et B)

Parcelle témoin n° 1	6,46 t/ha (103 bo/ac)
Parcelle témoin n° 2	6,84 t/ha (109 bo/ac)
Parcelle témoin n° 3	6,08 t/ha (97 bo/ac)

Différence entre les parcelles témoins n° 2 (élevée) et n° 3 (faible) :

6,84 t/ha – 6,08 t/ha = 0,76 t/ha
(109 bo/ac – 97 bo/ac = 12 bo/ac)

Hybride A	6,71 t/ha (107 bo/ac)
Hybride B	6,21 t/ha (99 bo/ac)

Différence entre l'hybride A et l'hybride B :

6,71 t/ha – 6,21 t/ha = 0,5 t/ha
(107 bo/ac – 99 bo/ac = 8 bo/ac)

Par conséquent, dans ce cas-ci, l'hybride A ne serait pas considéré différent de l'hybride B parce que la différence entre les deux (0,5 t/ha) est inférieure à celle constatée entre les hybrides témoins (0,76 t/ha).

DONNÉES DE 20__ RELATIVES AU CHAMP

	Identification du champ				Identification du champ				Identification du champ				Identification du champ			
Superficie																
Type de sol																
Fertilité du sol	pH	N	P	K	pH	N	P	K	pH	N	P	K	pH	N	P	K
Travail du sol																
Cultivar/Hybride																
Taux de semis																
Date des semis																
Traitement des semis																
Engrais/chaux produit, dose, moment																
Épandage de fumier																
Herbicides																
Dose																
Stade de la culture																
Date																
Rendement																
Date de récolte																
Humidité																
Poids spécifique/ classement																
Notes																

Formulaire de dépistage

Ferme : _____ **Dépisteur :** _____ **Date :** _____ **Heure :** _____

Champ : _____ **Superficie :** _____ **Culture :** _____ **Densité de peuplement :** ____

Stade de croissance de la culture, hauteur et état : _____

_____

_____

_____

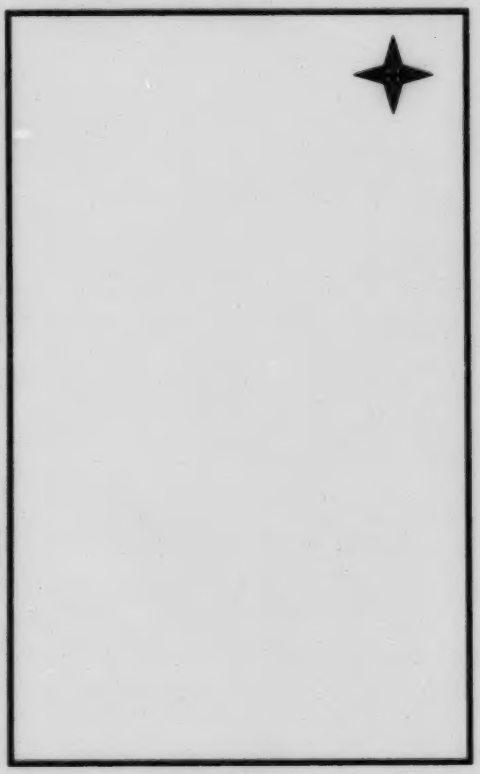
Condition de sol : _____

Mauvaises herbes	Stade de croissance	Pression /densité

Insectes	Stade	Pression /densité

Maladies	Stade	Pression

Carte du terrain: mauvaises herbes, insectes, zones de maladies, état de la culture, y compris coordonnées GPS



Commentaires du dépisteur :

_____

_____

_____

_____

_____

Mesure recommandée :

_____

_____

_____

_____

Données relatives au projet

Nom du producteur : _____ **N° de téléphone :** _____

Titre du projet : _____

CULTIVAR(s)	Traitement(s) des semences :	Date(s) des semis :	Taux des semis :

Renseignements sur les semis	Détails
Type de travail du sol :	

Information sur le sol	Azote (ppm)	Phosphore (ppm)	Potassium (ppm)	Magnésium (ppm)	pH	Type de sol (p. ex., sable/ loam/argile) :
Analyse de sol (ppm) :						

Cultures précédentes : Année 1_____ **Année 2**_____ **Année 3**_____

Application d'engrais			
Composition	Dose (lb/ac)	Méthode d'application (p.ex., à la volée, avec semence, etc.)	Date (jj-mm-aa)
1.			
2.			
3.			

Épandage de fumier	Type Bov. lait/bov. de bouch./porc	Taux (t/ac, gal/ac)	Date (jj-mm-aa)	% azote org.	% azote inorg.	% P	% K
1.							
2.							

Herbicides/pesticides

Produit : _____ **Dose : (L/ac, kg/ac)** _____ **Date du traitement :** _____

Produit : _____ **Dose :** _____ **Date du traitement :** _____

Produit : _____ **Dose :** _____ **Date du traitement :** _____

	Traitements	Détails	Autre
1	Non traité		
2			
3			
4			
5			
6			

ESSAIS À LA FERME

Carte de la parcelle d'essai **Orientation :**

Commentaires/ autres détails :

2. Gestion du sol et usage des fertilisants

Conservation du sol

En Ontario, la composition du sol varie grandement à cause de l'effet de raclement et de mélange apporté par le mouvement des glaciers. En plus de la fonte des glaciers, le vent, l'eau et le temps ont aussi contribué à une plus grande différenciation du sol. En certains endroits, la couche arable est très rapprochée du substratum rocheux. Ailleurs, elle compte jusqu'à 100 m (328 pi) de profondeur. La profondeur de la couche arable varie puisque les conditions de sa formation ont été diverses. Une production agricole intensive a aussi modifié la profondeur de la terre arable. L'érosion du sol par le vent, l'eau et le travail du sol ont réduit la quantité de terre arable dans de nombreux champs. Il arrive que la terre arable soit complètement disparue dans certaines zones. Assez souvent, le passage de la charrue en profondeur a mélangé la terre arable avec un sous-sol moins fertile.

Plusieurs sols en Ontario ont vu leur qualité décliner depuis 40 à 50 ans. La qualité du sol est garante de sa santé et de sa capacité à combattre l'érosion, le compactage et d'autres stress, tout en maintenant sa productivité économique. Pour définir la santé du sol, il faut considérer plusieurs facteurs. Un sol sain :

- présente une bonne structure, résiste à l'encroûtement et a subi un minimum de compactage;
- comporte des vers de terre en abondance;
- sent bon;
- décompose facilement les résidus;
- favorise le drainage, le mouvement de l'eau et possède une bonne capacité de rétention d'eau;
- favorise la levée de jeunes pousses et la croissance des racines;
- produit une culture dont la couleur et la croissance sont uniformes;
- présente des niveaux optimaux d'éléments nutritifs, de pH et de matière organique;
- souffre peu des érosions éolienne, hydrique ou du travail du sol et peut même y résister.

Pour assurer une productivité continue, il convient d'évaluer la qualité du sol de chaque champ et de prendre les mesures visant à la maintenir ou à l'améliorer. Le maintien d'un sol de bonne qualité est un processus à long terme. Certaines mesures sont relativement faciles à prendre et peu coûteuses alors que d'autres exigent plus de travail et d'engagement. Au tableau 2–1, *Maintien ou amélioration de la qualité du sol*, p. 16, on trouve diverses mesures visant au maintien ou à l'amélioration des divers aspects de la qualité du sol.

Il importe de se rappeler que le sol et sa gestion font partie d'un système global de production des cultures. Le sol constitue l'élément central sur lequel repose l'écosystème agricole. Tout changement apporté avec les années au système de production des cultures a des effets à long terme sur tous les autres systèmes. Si l'on prend des mesures pour améliorer la qualité du sol, il faut réfléchir à ces changements et à la façon dont ils pourraient influencer d'autres composantes du système de production.

Cette interdépendance est illustrée par l'exemple suivant, où l'on ajoute une culture couvre-sol dans la rotation des cultures en vue d'éviter l'érosion éolienne. La plante de couverture pourrait affecter la culture suivante en devenant l'hôte de nématodes, en se transformant en mauvaises herbes ou en laissant sur la surface du sol un tapis qui héberge des limaces ou conserve le sol trop humide et frais. On peut y remédier en choisissant une culture couvre-sol qui n'héberge pas de ravageurs, ne produit pas de graines, est facile à éliminer et ne protège le sol que pendant le délai souhaité.

Pour en savoir plus sur les systèmes de gestion du sol, se référer au fascicule suivant de la série *Les pratiques de gestion optimale*, réalisée en collaboration par le MAAARO et Agriculture et Agroalimentaire Canada : *Gestion du sol (1997)*, commande n° BMP06F.

Travail du sol

Depuis toujours, le travail du sol a eu pour rôle de désherber et de préparer le lit de semence afin d'assurer une densité de peuplement satisfaisante et un bon rendement. Depuis quelque temps toutefois, on assiste à une évolution des méthodes de travail du sol et de culture, qui vise à supprimer entièrement le travail du sol ou à en diminuer l'intensité de manière à réduire l'érosion. Le travail réduit du sol peut être

Tableau 2–1.
Maintien ou amélioration de la qualité du sol

Mesure	Commentaires
Facile/moins cher	
Recours aux cultures couvre-sol	• Les cultures couvre-sol avec des racines fasciculées améliorent la structure du sol. • Les cultures couvre-sol avec des racines pivotantes peuvent pénétrer les couches de sol plus denses. • Les plantes couvre-sol peuvent aussi offrir une protection contre l'érosion.
Analyse du sol et épandage d'engrais et de chaux	• Un pH adéquat et une meilleure fertilité favorisent la croissance.
Travail réduit et gestion des résidus	• La diminution du nombre de passages pour préparer le lit de semence : • laisse plus de résidus à la surface, ce qui donne une meilleure protection contre l'érosion; • réduit les pertes de matière organique; • laisse les agrégats de sol intacts, ce qui réduit le potentiel d'encroûtement.
Ajout de matière organique sous forme de fumier, de biosolides, etc.	• L'épandage unique ou occasionnel de matière organique permet de maintenir la teneur du sol en matière organique sans toutefois l'augmenter réellement.
Mesures de lutte contre l'érosion	• Des mesures simples comme des bandes tampons, des ouvrages (chutes enrochées, ou canalisations de descente), protection des sorties de drains agricoles et culture en bandes alternantes réduisent grandement l'érosion du sol.
Changements de système de gestion ou investissements nécessaires	
Travail minimal du sol	• L'adoption d'un système de travail qui laisse encore plus de résidus à la surface contribue à protéger le sol et à améliorer sa structure mais requiert de l'investissement et des changements dans les pratiques de gestion.
Semis direct	• Le semis direct protège au maximum contre le risque d'érosion par le vent, l'eau et les pratiques culturales; il faut un nouvel équipement ou modifier l'équipement existant et d'importants changements de gestion sont nécessaires.
Rotation des cultures, y compris mélange de céréales, légumineuses ou graminées	• L'engagement à long terme face à une rotation des cultures dont des céréales, des légumineuses et des graminées, peut améliorer la structure du sol, de même que sa capacité de rétention de l'eau et le protéger contre l'érosion.
Brise-vent	• Les brise-vent commencent à fournir une protection en quelques années, et les avantages durent toute une vie.
Amélioration du drainage	• Les drains agricoles éliminent l'excès d'eau, permettent de respecter le calendrier des travaux, réduisent le compactage potentiel et favorisent la croissance.
Ajout de matière organique sous la forme de fumier, de biosolides, etc.	• L'ajout régulier de matière organique permet d'élever la teneur du sol en matière organique, améliore sa structure, augmente sa capacité de rétention de l'eau et le rend moins vulnérable à l'érosion.
Application de mesures de lutte contre l'érosion	• Le recours à des ouvrages de lutte contre l'érosion comme des bassins de retenue de l'eau et des sédiments permet de mieux protéger les champs contre la perte de la terre arable.

avantageux à cause des coûts élevés du carburant et de la pénurie de main-d'œuvre.

Le choix d'un nouveau système de travail du sol doit se fonder sur la compatibilité des nouvelles pratiques culturales avec le type de sol de l'exploitation, les pentes, le drainage, le régime hydrique et la température. Il fait entrer en jeu d'importantes considérations : l'incidence du système de travail du sol sur la lutte contre l'érosion, le calendrier des travaux, les méthodes possibles de lutte contre les mauvaises herbes, les insectes et les maladies, et la rentabilité de l'exploitation. Il n'existe aucun système de travail du sol qui soit le meilleur pour toutes les situations qui existent en Ontario à cause de l'extrême variabilité des terres, des cultures et du climat. En réalité, il pourrait y avoir une rotation des systèmes de travail du sol tout comme il y a la rotation des cultures. On pourrait choisir le système de travail le mieux adapté à la culture. Les rubriques qui suivent décrivent brièvement les principaux systèmes de travail du sol et les évaluent en fonction de leurs avantages et de leurs inconvénients relatifs.

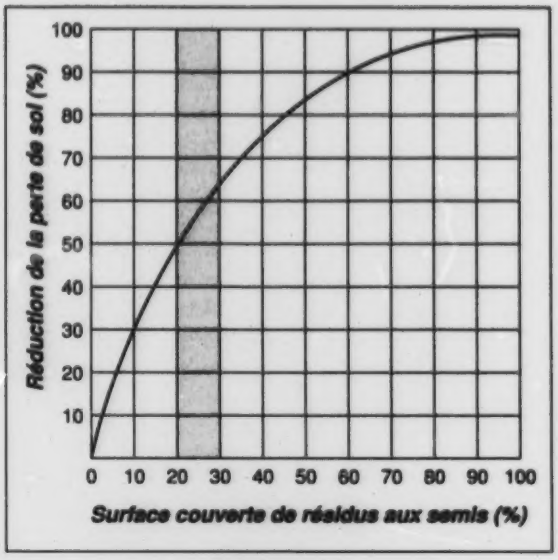


Figure 2–1.
Réduction des pertes de sol en fonction de différents pourcentages de résidus

Les principaux chapitres sur les cultures présentent les renseignements sur les systèmes de travail du sol les mieux adaptés à cette culture. Pour en savoir plus sur les systèmes de gestion du sol, se référer aux fascicules suivants de la série *Les pratiques de gestion optimale*, réalisée en collaboration par le MAAARO et Agriculture et Agroalimentaire Canada : *Grandes cultures (1997)*, commande n° BMP02F, et *Semis directs : Les secrets de la réussite (1997)*, commande n° BMP11F.

Méthodes traditionnelles de travail du sol

On désigne ainsi les façons culturales qui ont pour résultat d'enfouir la majorité des résidus de culture; après le semis suivant, moins de 30 % de la surface du sol est couverte de résidus. Pour ce faire, on pratique en général un labour avec une charrue à socs puis des façons superficielles destinées à préparer le lit de semence avec divers types de machinerie. Parmi les principaux avantages, ce système fait appel à de la machinerie classique, en vente partout. Sa souplesse permet de l'adapter à une large gamme de sols. La charrue à socs augmente la porosité, permet un bon échange d'air, la multiplication des racines et l'infiltration de l'eau, surtout en présence de pluies abondantes. La porosité accrue peut toutefois être réduite par un travail secondaire excessif ou dans les sols où la structure est moins stable. Plusieurs producteurs de bétail voient la charrue à socs comme la façon la plus efficace d'incorporer le fumier et de travailler les prés.

Parmi les principaux inconvénients, il faut noter les coûts de matériel, de carburant et de main-d'œuvre associés à la préparation du lit de semence, qui sont élevés. La figure 2–1, *Réduction des pertes de sol en fonction de différents pourcentages de résidus*, ci-contre, illustre l'autre principal inconvénient du travail avec la charrue à socs. Avec peu ou pas de résidus, le risque d'érosions hydrique et éolienne est élevé.

La quantité de résidus varie selon la culture et, en général, va croissant du soya au maïs en passant par les céréales à paille. Du fait de leur densité de peuplement, de leurs habitudes de croissance et de la durée de leur établissement, ce sont les prairies de fauche et les pâturages de vivaces (cultures herbagères) qui couvrent le plus le sol et le protègent le mieux contre l'érosion. Le tableau 2–2, *Pourcentage moyen de sol couvert de résidus en fonction des différents systèmes de travail du sol et des différentes cultures*, p. 18, montre l'incidence du système de travail du sol et de la culture précédente sur la proportion de sol couverte de résidus.

Travail réduit du sol à l'automne

Les systèmes de travail réduit du sol visent à laisser plus de résidus en surface, offrant ainsi plus de protection contre l'érosion que le travail avec la charrue à socs. La charrue chisel est l'outil le plus fréquemment adopté pour le travail réduit du sol en Ontario, avec la charrue à disques et le pulvériseur tandem qui sont également très utilisés dans certaines régions de la province.

La labour à la charrue chisel avec dents vrillées produit au printemps un sol billonné, ce qui peut engendrer des coûts supplémentaires au titre du travail superficiel (plus de passages de machinerie), donner des lits de semence inégaux et conduire, à l'occasion, à un assèchement excessif du sol. Bon nombre de ces inconvénients peuvent être évités :

- en utilisant des socs bineurs sur la totalité ou une partie du chisel;
- en ajoutant une lame niveleuse des herses à l'arrière du chisel;
- en effectuant un travail superficiel au printemps.

Travail réduit du sol au printemps

Une bonne façon de réduire l'érosion et d'abaisser les coûts est d'éliminer le travail réduit du sol à l'automne. Les producteurs qui travaillent sur des sols lourds où les niveaux de résidus sont élevés après les récoltes de maïs, de blé ou autres peuvent s'inquiéter de ne pas travailler le sol à l'automne. Cependant, après les récoltes de soya ou d'autres cultures où les résidus de surface sont légers, ou sur des sols sablonneux ou des loams, il existe peu de raisons de

Tableau 2–2.
Pourcentage moyen de sol couvert de résidus
en fonction des différents systèmes de travail du sol et des différentes cultures

Les pourcentages indiqués peuvent varier jusqu'à 20 %. Sauf en ce qui concerne le billonnage, les mesures des résidus après le soya ont été faites à l'automne précédant un semis de blé. La décomposition qui se produit pendant l'hiver peut faire diminuer encore beaucoup plus la quantité de résidus. Données recueillies partout en Ontario.

Système type de préparation du lit de semence	Pourcentage moyen de sol couvert de résidus au moment des semis			
	Culture précédente			
	Soya	Maïs	Céréales	Herbe
Semis direct	**30–39 %**			
Billonnage	**30–39 %**		0–19 %	Non adapté
Disques + un passage pour le travail superficiel	20–29 %		**30–39 %**	
Charrue chisel + un passage pour le travail superficiel	0–19 %	**30–39 %**	20–29 %	**20–29 %**
Charrue à socs + un passage pour le travail superficiel	0–19 %	0–19 %	0–19 %	0–19 %

Résumé du tableau
En général, les systèmes de travail du sol qui commencent par un labour à la charrue à socs ne laissent pas la proportion minimale de sol de 30 % couverte par les résidus. De nombreux systèmes de travail du sol font appel à des instruments aratoires classiques ou à de la machinerie spécialement conçue pour le travail de conservation, ou bien allient ces deux types de machinerie; ils laissent le sol suffisamment couvert de résidus après le semis pour le protéger efficacement contre l'érosion. Les ordres de grandeur qui figurent ci-dessus ne sont donnés qu'à titre indicatif et ne doivent pas servir de manière absolue pour déterminer la proportion de sol couverte par les résidus à l'issue d'un système de travail particulier.

travailler le sol en automne en Ontario. Dans ce cas, un travail réduit du sol au printemps à l'aide d'un cultivateur, de disques ou d'instruments combinés peut souvent préparer des lits de semence adéquats et précéder le travail avec des semoirs traditionnels.

Semis direct

Le semis direct fournit la meilleure occasion de laisser des résidus protecteurs à la surface. Cette méthode présente le meilleur potentiel de réduction des coûts de travail du sol, quoiqu'il faille lutter contre les mauvaises herbes dans presque tous les cas par la destruction chimique au moyen d'un herbicide appliqué en présemis. Plusieurs possibilités existent, à la fois dans le concept original et les modifications offertes pour que les semoirs de précision ou les semoirs à grains soient considérés adaptés au semis direct. Dans la présente publication, l'expression « semis direct » se réfère à tout système qui résume les opérations de semis et de travail du sol à un seul passage de machinerie, peu importe les diverses configurations ou modifications de l'instrument et son action sur le sol des rangs.

La réussite des semis directs dépend souvent d'une quantité de facteurs autres que la configuration des instruments. Il peut s'agir entre autres du drainage du sol et de la rotation des cultures, qui influent grandement sur le rendement de tous les systèmes de semis direct.

Drainage du sol

Un bon drainage interne améliore la probabilité que les sols s'assèchent et soient prêts à être ensemencés à temps par la méthode du semis direct. Un bon drainage diminue les risques de saturation des sols et de piètre croissance des racines, surtout en début de saison. Les producteurs trouvent souvent difficile de réussir des semis directs dans des sols à texture fine qui ne sont pas systématiquement munis de drains agricoles.

Rotation des cultures

Des rotations étroites, où la même culture apparaît avec une fréquence élevée (p. ex., monoculture de maïs) ne se prêtent pas aux semis directs, peu importe que toutes les conditions soient réunies. Une rotation des cultures réussie, y compris une gamme élargie de cultures comme des légumineuses et des fourrages, améliore la structure des sols et assure le succès du travail réduit ou du semis direct.

Billonnage (labour en billons)

Ce système consiste à travailler la terre en bandes légèrement surélevées, appelées billons. On

Tableau 2–3.
Effets du système de travail du sol sur le rendement des cultures à Woodstock (Ontario) (1996–2000)

Système de travail du sol	Maïs	Soya	Blé
	t/ha (bo/ac)		
Labour continu à la charrue à socs – automne	10,60 (169)	2,89 (43)	5,04 (75)
Labour continu à la charrue chisel – automne	10,60 (169)	3,02 (45)	5,18 (77)
Charrue chisel avant le maïs (soya et blé en semis direct)	10,54 (168)	3,09 (46)	5,04 (75)
Charrue chisel avant le soya (maïs et blé en semis direct)	10,29 (164)	3,02 (45)	5,04 (75)
Semis direct en continu	10,16 (162)	2,96 (44)	4,97 (74)

ensemence sur la crête des bandes de terre. Comme pour le semis direct, aucun travail du sol n'est effectué entre la récolte et le semis suivant. Le travail du sol entre les billons sert à refaçonner ces derniers et à désherber. Le semis sur billons, qui se prête le mieux aux cultures en lignes, est aussi pratiqué par certains producteurs de céréales. Il est également utilisé comme système de transition vers le semis direct et n'a été adopté en Ontario que sur une très petite superficie.

Choix d'une méthode de travail du sol

Comme il a été énoncé précédemment, il faut considérer de nombreux facteurs dans le choix d'un système de travail du sol. Il faut, entre autres, se poser les questions suivantes :

- Qu'est-ce qui sera amélioré en changeant de système de travail du sol?
- Est-ce que le changement de système de travail du sol est adapté aux programmes de gestion des cultures actuels ou à venir?
- Comment le changement sera-t-il effectué?
- Faudra-t-il de nouvelles compétences ou beaucoup investir dans de nouveaux instruments?
- Quand le changement sera-t-il effectué? (Est-ce le moment de remplacer un instrument aratoire désuet?)

Continuité des systèmes de travail du sol

On peut chaque année avoir recours au même système de travail du sol ou le changer selon les résidus de la culture précédente ou la culture à venir. Certains s'en tiennent strictement aux semis directs, d'autres ont recours au travail du sol avant la culture du maïs. On a par exemple la rotation du maïs, du soya et du blé d'automne où le soya et le blé sont en semis direct, mais les chaumes de blé font l'objet d'une forme de travail du sol (pulvérisage léger, passage de la charrue chisel ou de la charrue à socs) en préparation du maïs. Le tableau 2–3, *Effets du système de travail du sol sur le rendement des cultures à Woodstock (Ontario) (1996–2000)*, ci-contre, démontre l'incidence du travail du sol sur le rendement dans les systèmes de semis direct.

Les cinq premières années de l'étude suggèrent qu'il est possible d'atteindre un rendement maximal du maïs et du soya avec la charrue chisel avant le maïs, suivi d'un semis direct de soya. Le traitement où le travail du sol a été effectué uniquement pour le maïs (p. ex., charrue chisel avant le maïs, autrement semis direct) a donné des rendements de maïs et de soya plus importants qu'un semis direct continu.

Par conséquent, si le travail du sol est nécessaire pour corriger les problèmes associés aux semis directs à long terme (p. ex., excès de résidus, stratification des éléments nutritifs, compactage à la récolte, lits de semence inégaux, etc.), c'est avant le maïs qu'il faut effectuer le travail du sol. Sur des loams similaires au sol à Woodstock, il semble que la charrue chisel produise des rendements similaires au travail à la charrue à socs. Cependant, sur des sols argileux similaires au sol de Winchester, on préférera peut-être la charrue à socs pour un travail intermittent du sol plutôt que la charrue chisel.

Dans un système de rotation des cultures sur trois ans, le travail du sol une fois (l'automne avant les semis de maïs) n'a pas donné de rendements de soya ou de blé en semis direct inférieurs à ceux où le semis direct a été effectué de façon uniforme chaque année. En réalité, il semble devenir évident qu'un travail du sol à l'occasion (c.-à-d. une année auparavant) améliore vraiment les rendements du soya en semis direct.

Travaux d'amélioration du sol

Ces travaux d'amélioration ont pour objectif de corriger un problème comme l'orniérage subséquent aux récoltes, les zones humides ou le compactage. Il peut s'agir simplement d'un travail avec charrue à disques pour remplir les ornières profondes découlant d'une récolte humide, mais ils peuvent aussi inclure le sous-solage et le nivelage. Ce type de travail du sol est généralement d'un usage limité et est uniquement utilisé dans des circonstances spéciales. Le sous-solage est présenté plus en détail sous la rubrique *Compactage du sol*, p. 29.

Nivelage

Le nivelage ou profilage se réalise avec ou sans l'aide d'appareils de guidage (laser). Le nivelage guidé au laser consiste à créer une pente constante sur un champ pratiquement plat. Conjuguée aux mesures de lutte contre l'érosion, comme des chutes enrochées, cette opération permet à l'eau de surface de s'écouler d'un champ sans causer de dommages. C'est un travail très coûteux qu'un producteur entreprend une ou deux fois seulement dans sa vie. Le nivelage au jugé (sans appareil de guidage) consiste à aplanir un champ en prélevant de la terre sur les parties hautes pour en combler les cuvettes ou parties basses. Sur des champs relativement plats, la niveleuse travaille en faisant des allers et retours.

Cette opération radicale présente un inconvénient de taille, celui d'appauvrir le sol en matière organique, de détruire la structure du sol et de le laisser sans protection contre les érosions éolienne et hydrique. Le compactage du sol et l'encroûtement peuvent poser un problème en certains endroits. Sur les hauteurs, la couche arable est amincie et les rendements peuvent y être moins bons dans les années qui suivent.

Considérations économiques liées au travail de conservation (coûts de production)

La comparaison des différents systèmes de travail du sol implique la mise en équilibre d'un certain nombre de facteurs. Les coûts de mise en œuvre sont importants, mais le rendement et la lutte contre l'érosion doivent aussi entrer en ligne de compte. Le rendement le plus élevé ne donne pas toujours le bénéfice net le plus élevé. La récolte de quelques boisseaux de moins à l'acre, avec un système de travail du sol, peut être plus que compensée par la baisse des coûts totaux à l'acre de ce système.

Chaque système a des besoins spécifiques en matière d'instruments aratoires et de semoirs, de fertilisation, et de lutte antiparasitaire; chacun suppose aussi qu'on fasse des ajustements subtils dans de nombreux autres aspects du programme de gestion des cultures. Un système plus économique n'est pas meilleur s'il ne permet pas de combattre l'érosion et si les rendements baissent au point de diminuer le bénéfice net.

En général, les coûts du travail primaire du sol effectué dans le cadre des systèmes de conservation sont inférieurs à ceux associés au labour à la charrue à socs. La plupart des systèmes de conservation reviennent moins cher parce qu'ils reposent sur la réduction du nombre d'opérations culturales. Les coûts des engrais et des semences sont les mêmes pour tous les systèmes. Les coûts des herbicides peuvent être plus élevés au cours des premières années, mais ils diminuent ensuite habituellement pour se situer au même niveau que ceux des systèmes traditionnels. En général, les traitements contre les dicotylédones et les graminées font appel aux mêmes herbicides et aux mêmes doses, qu'il s'agisse de travail du sol traditionnel ou de travail de conservation. L'épandage d'herbicide en bandes sur les billons peut se traduire par une importante économie.

Dans le cas du semis direct de maïs, de soya et de blé d'automne, le carburant coûte moins de la moitié de ce qu'il coûte dans un système comportant un labour à la charrue à socs. Par la même occasion, les coûts de main-d'œuvre sont réduits de plus de 40 %. Le travail du sol minimal se situe à mi-chemin entre ces deux techniques pour ce qui est des coûts, lesquels varient selon les caractéristiques du système particulier mis en œuvre. Dans les systèmes de conservation, les coûts totaux à l'acre sont de 15 % inférieurs à ceux du système fondé sur le labour, l'essentiel de cette diminution venant de la réduction des coûts de préparation du lit de semence.

L'adoption d'un nouveau système de travail du sol s'accompagne de certains coûts de « rodage ». Les erreurs commises ou les mesures de précaution prises peuvent alourdir les coûts; mais, à terme et avec de l'expérience, les nouvelles techniques de travail qui réduisent l'érosion du sol doivent améliorer les potentialités du sol à long terme et la rentabilité de l'exploitation.

Rotation des cultures

Avantages de la rotation des cultures

La rotation des cultures fait partie intégrante du système de production des cultures. Le principal avantage de la rotation des cultures est de faire augmenter les rendements. Une rotation bien planifiée favorise la lutte contre les ennemis des cultures et permet de maintenir ou d'améliorer la structure et les teneurs en matière organique du sol. Une plus grande variété de cultures permet de mieux lutter contre les mauvaises herbes, de mieux répartir la charge de travail; elle réduit le risque d'érosion et protège contre celle-ci. Dans la rotation, la valeur des cultures de légumineuses est à la hausse avec le coût plus élevé de l'azote. Des recherches et l'expérience ont démontré qu'une bonne rotation des cultures fournit des rendements plus constants, renforce la structure du sol et augmente la rentabilité potentielle.

Toute rotation des cultures repose sur la règle de base suivante : la même culture ne devrait jamais se succéder à elle-même. La monoculture peut déboucher sur

l'accumulation des maladies et la prolifération des insectes propres à cette culture, et ralentir le rendement. L'impact est plus grand si la culture a été répétée plus souvent. Par exemple, il est de plus en plus répandu de cultiver le soya deux années de suite et plus. Il faut noter que la plus grande conséquence de plusieurs années successives de cultures de soya a été la propagation à un rythme accéléré du nématode à kyste du soya (NKS). Pour plus de renseignements et les baisses potentielles de rendement, voir la rubrique *Nématode à kyste du soya*, p. 149. Le nombre croissant d'années de culture du soya dans la rotation augmente également la sensibilité à l'érosion des sols en Ontario. Dans les rotations maïs-soya, la structure des sols peut se révéler plus pauvre que celle des sols de monoculture de maïs. Par exemple, une étude récente a démontré que l'érosion qui suit un grave orage de juin la première année de la culture de maïs suivant deux années de soya était deux fois plus élevée qu'à la suite du maïs, du blé contre-ensemencé de trèfle rouge ou de luzerne. Une structure du sol relativement faible après deux ans de culture de soya augmente non seulement la sensibilité à l'érosion mais réduit aussi la porosité du sol, ce qui nuit à l'infiltration de l'eau de pluie. Cette infiltration réduite augmente à son tour le risque d'érosion, de formation de flaques d'eau ou de manque d'humidité dans le sol ou les deux, autant de conséquences pouvant nuire au rendement, surtout les années où les conditions atmosphériques sont plus difficiles.

La rotation des cultures présente ses plus grands avantages lorsque se déroule une séquence de cultures de familles totalement différentes. Les deux familles principales sont les graminées (monocotylédones) et les latifoliés (dicotylédones). Les graminées comprennent les graminées fourragères, les céréales et le maïs. Le soya, le haricot blanc, la luzerne et le canola sont des exemples de latifoliés. Le tableau 2–4, *Effet de la rotation sur le rendement du maïs*, ci-contre, fournit un exemple de l'effet que peut avoir la rotation.

Les systèmes racinaires fasciculés des graminées fourragères et des céréales (y compris le trèfle rouge) sont excellents pour la structure du sol. Des études ont démontré que les avantages d'inclure du blé, surtout du blé avec du trèfle rouge, peuvent se poursuivre au-delà de l'année qui suit. Le blé contre-ensemencé de trèfle rouge a donné des augmentations de rendement chaque année pendant trois années consécutives, comparé à des systèmes sans trèfle rouge dans une rotation sur quatre années.

Dans le choix des cultures, il faut tenir compte de tous les éléments économiques touchant la rotation plutôt que d'une seule culture. Ainsi, il faut être conscient de tout problème potentiel d'insectes ou de maladies qui pourraient toucher les cultures plus tard dans la rotation. Dans la rotation aussi, les cultures couvre-sol peuvent avoir une incidence, positive ou négative, sur les ennemis des cultures (se référer à la rubrique *Cultures couvre-sol*, p. 23, pour les effets potentiels des diverses cultures couvre-sol). Le tableau 2–5, *Diverses rotations des cultures et leurs effets négatifs potentiels*, p. 22, présente diverses rotations des cultures recommandées, d'autres plus risquées ou celles qui ne sont pas recommandées, selon leurs effets sur le système de production des cultures. Il ne s'agit pas là d'une liste complète des problèmes liés aux cultures, mais le tableau souligne les principaux effets dont il faut tenir compte. On trouvera plus de renseignements dans les chapitres consacrés aux différentes cultures.

Tableau 2–4.
Effet de la rotation sur le rendement du maïs[1]

	Rendement en grain de maïs[2]	
	Loam (1990–1995)	Loam argileux (1990–1993)
Rotation	t/ha (boisseaux/ac)	
Monoculture de maïs	8,84 (141)	6,59 (105)
Soya-maïs	9,78 (156)	7,40 (118)
Soya-blé-maïs	9,47 (151)	7,90 (126)
Soya-blé (TR)[3]-maïs	10,23 (163)	8,47 (135)
Soya-blé (TR)-TR[3]-maïs	10,35 (165)	8,28 (132)

Source : Vyn, Université de Guelph.

[1] Sur un loam Toledo près de Chatham (Ontario) et sur un loam argileux Brookston près de Maidstone (Ontario).

[2] Tous les traitements du maïs ont été fertilisés avec 179 kg de N/ha (160 lb/ac).

[3] Le blé a été contre-ensemencé de trèfle rouge. « Blé (TR)-TR » signifie que le trèfle rouge n'a pas été enfoui mais récolté comme semence pour l'année suivante, puis il a été enfoui par travail du sol à l'automne.

Gestion de la matière organique du sol

La matière organique est une importante composante du sol. C'est un élément primordial du cycle des nutriments, qui permet de retenir l'humidité et de protéger la structure du sol. La réserve de matière organique dans le sol est constamment modifiée et on peut la comparer à un compte bancaire. Les pratiques culturales peuvent l'enrichir ou l'appauvrir. Des pratiques comme le travail de conservation, une bonne rotation des cultures, les cultures couvre-sol, l'apport de fumier et d'autres sources de matière organique de même que la lutte contre l'érosion permettent d'améliorer ou de stabiliser le bilan de la matière organique. Un travail excessif du sol et une perte de terre arable équivalent à des retraits.

Tableau 2–5. Diverses rotations des cultures et leurs effets négatifs potentiels

Culture prévue	Culture précédente						
	Maïs	Soya	Fourrages	Céréales de printemps	Céréales d'automne	Haricots comestibles	Canola
Maïs		• hanneton européen (sur les sols à texture légère)	• vers fil-de-fer après un gazon de graminées	• résidus lourds en semis direct pouvant retarder l'assèchement et le réchauffement du sol	• résidus lourds en semis direct pouvant retarder l'assèchement et le réchauffement du sol		• risque de répercussions négatives sur la croissance
Soya	• limaces pouvant causer des dommages en semis direct	• baisse de rendement • nématode à kyste du soya • maladies des racines • dégradation du sol	• échappées de mauvaises herbes parfois difficiles à maîtriser • limaces pouvant réduire le peuplement	• limaces et retard dans les semis pouvant nuire au semis direct	• limaces et retard dans les semis pouvant nuire au semis direct • tétranyques suivant la culture couvre-sol de trèfle	• moisissure blanche • dégradation du sol • nématode à kyste du soya (parfois)	
Fourrages	• résidus lourds pouvant interférer avec la mise en place de la semence en semis direct	• risque de rémanence d'herbicides					
Céréales de printemps			• vers fil-de-fer après des gazons de graminées	• maladies des feuilles • baisse de rendement	• maladies des feuilles • baisse de rendement		• risque d'un léger ralentissement de la croissance
Céréales d'automne		• hanneton européen (sur les sols à texture légère)	• échappées de mauvaises herbes • croissance réduite en semis direct avec chiendent				• risque d'un léger ralentissement de la croissance
Haricots comestibles		• moisissure blanche • pourritures des racines • nématode à kyste du soya (parfois)	• échappées de mauvaises herbes • limaces en semis direct	• limaces pouvant causer des dommages en semis direct	• limaces pouvant causer des dommages en semis direct		
Canola	• limaces pouvant causer des dommages en semis direct • récolte trop tardive pour les semis de canola d'automne • risque de rémanence des herbicides		• limaces pouvant réduire le peuplement		• limaces pouvant causer des dommages en semis direct	• moisissure blanche	

Légende : Recommandé | Prudence

Fumier et autres sources de matière organique

Fumier

La teneur en nutriments du fumier est présentée plus en détail sous la rubrique *Analyse du fumier*, p. 45.

Lorsqu'on utilise du fumier comme source de matière organique, il faut tenir compte des points suivants :

- Le fumier constitue un ajout de matière organique mais aussi d'éléments nutritifs. Se conformer aux recommandations en matière d'application de fumier présentées plus loin dans ce chapitre.
- La teneur en matière organique varie selon le type de fumier.
- Le taux d'application détermine aussi la quantité de matière organique ajoutée au sol.

Biosolides et déchets

Les biosolides et les déchets constituent une autre façon d'ajouter de la matière organique au sol. Les biosolides sont des sources de matière organique provenant des procédés de traitement des eaux usées municipales, réglementés en vertu du chapitre V de la *Loi sur la protection de l'environnement*. Les déchets sont des rejets issus des procédés industriels et commerciaux qui peuvent être d'origine organique ou non. Les déchets utilisés en agriculture sont également réglementés en vertu du chapitre V de la *Loi sur la protection de l'environnement*. Comme pour le fumier, le type de biosolides et le taux d'épandage déterminent la quantité de matière organique ajoutée au sol. Pour plus de renseignements, se référer à la rubrique *Biosolides et déchets utilisés sur les terres agricoles*, p. 50.

Cultures couvre-sol

En Ontario, les cultures couvre-sol jouent un rôle de première importance en protégeant le sol contre l'érosion et en y ajoutant de la matière organique, ce qui en améliore les propriétés. Elles peuvent aussi répondre à certaines autres fonctions.

Fonctions des cultures couvre-sol

Réduction de l'érosion du sol

Les cultures couvre-sol correspondent exactement à leur nom, elles couvrent le sol et en protège la surface des érosions éolienne et hydrique. La partie aérienne couvre la surface du sol tandis que les racines aident à stabiliser les particules du sol. Les plantes couvre-sol peuvent être semées sur tout un champ pour une meilleure protection contre l'érosion ou seulement dans les zones plus sensibles à l'érosion, comme les collines sablonneuses, afin de les protéger de l'érosion éolienne et du ruissellement de l'eau, ou dans les zones basses, afin de les protéger de l'érosion hydrique.

Tableau 2–6.
Production de matière sèche des cultures couvre-sol

Cultures couvre-sol les plus répandues[1]	Production de matière sèche	
	kg/ha	(lb/ac)
Trèfle rouge (enfoui)	2 700–4 500	(2 403–4 005)
Avoine	1 000–5 500	(890–4 895)
Seigle	1 000–4 000	(890–3 560)
Radis oléagineux	2 000–7 500	(1 780–6 675)

[1] La production de matière sèche peut varier considérablement en fonction d'un certain nombre de facteurs de production.

Ajout de matière organique

Les cultures couvre-sol enrichissent le sol de matière organique, mais la quantité varie vraiment selon l'espèce et les conditions de croissance. Le tableau 2–6, *Production de matière sèche des cultures couvre-sol*, ci-dessus, donne les niveaux de matière sèche (résidus de la partie aérienne seulement) des principales cultures couvre-sol établies à la fin d'été et au début de l'automne. Ces résultats ont été recueillis de parcelles d'essai de cultures couvre-sol dans le sud-ouest de l'Ontario.

Le rendement en matière organique n'est peut-être pas aussi important que celui obtenu des cultures couvre-sol aux États-Unis. Cependant, il importe de tenir compte des différences climatiques et de la façon d'incorporer la culture couvre-sol dans la rotation des cultures.

Réduction des pertes d'éléments nutritifs

Certaines cultures couvre-sol fixent l'azote, mais d'autres en ont besoin davantage pour leur croissance. Les graminées couvre-sol (p. ex., le seigle) et les crucifères (comme le radis oléagineux) sont d'excellents prédateurs de l'azote laissé par la culture principale ou l'épandage de fumier. Les cultures couvre-sol qui ont besoin d'azote peuvent réduire les pertes d'azote due au lessivage, empêchant les nitrates d'atteindre les nappes phréatiques peu profondes. Lorsque la culture couvre-sol est détruite, les éléments nutritifs contenus dans les tissus végétaux retournent dans le sol et servent à la culture suivante.

Meilleure fertilité du sol

Les légumineuses couvre-sol peuvent fixer l'azote pour une culture subséquente. Les producteurs

biologiques utilisent souvent ce type de couvre-sol afin de produire de l'azote pour le reste des cultures comprises dans la rotation. Certaines espèces de couvre-sol sont reconnues pour produire davantage de phosphore assimilable par les autres cultures grâce à l'action des racines. Les couvre-sol avec un système racinaire plus profond peuvent extraire les éléments nutritifs en profondeur et ainsi enrichir le sol.

Populations réduites de ravageurs

Il y a des espèces de couvre-sol qui ne servent pas d'hôtes à certains ravageurs ou qui peuvent contenir des matières toxiques pour le ravageur ciblé. Par exemple, nombre de cultures couvre-sol courantes sont cotées en fonction de leur résistance aux nématodes des racines et autres nématodes (voir tableau 2–7, *Caractéristiques des couvre-sol cultivés en Ontario*, p. 25). Les couvre-sol comme les tagètes et le millet perlé ne permettent pas aux nématodes de se reproduire. D'autres couvre-sol, comme certaines espèces de la famille des moutardes, surtout celles qui renferment de fortes concentrations d'acide érucique et de glucosinolate, peuvent agir comme « fumigant naturel » grâce à la dégradation chimique de ces produits. La quantité d'engrais vert qui doit être enfoui dans le sol pour ce faire est souvent difficile à obtenir dans des conditions de grande culture. Les mauvaises herbes servent souvent d'hôtes intermédiaires aux nématodes. Une bonne culture couvre-sol, une densité de peuplement adéquate et une bonne lutte contre les mauvaises herbes dans la culture couvre-sol sont d'importance primordiale pour assurer l'efficacité de ces méthodes de suppression ou de réduction des nématodes.

Compactage réduit et meilleure structure du sol

Les cultures couvre-sol peuvent contribuer à réduire le compactage et à améliorer la structure du sol. L'ajout de la partie aérienne, et surtout le système racinaire, permettent une meilleure infiltration de l'eau et une meilleure capacité de retenue. Elles diminuent également la densité du sol. Des cultures couvre-sol avec système racinaire profond peuvent réduire l'incidence du compactage. Si un travail en profondeur du sol sert à combattre le compactage, la culture d'un couvre-sol permet de stabiliser les fissures et les craquelures créées dans le sol par le travail en profondeur. On améliore la structure du sol grâce aux cultures couvre-sol et à l'enfouissement des résidus.

Gestion de l'eau

Les cultures couvre-sol et les résidus peuvent servir à pailler la culture. Ils contribuent ainsi à réduire la perte d'humidité.

Fourrage en cas d'urgence

En cas de problèmes, si l'on manque de fourrage à la suite d'une sécheresse ou de la destruction par l'hiver, certaines espèces de couvre-sol peuvent fournir du foin ou des pâturages.

Choix d'une culture couvre-sol

Considération	Observation
Caractéristiques de croissance	• Quels sont les besoins liés aux caractéristiques de croissance? • Quand la croissance est-elle nécessaire, c.-à-d. croissance vigoureuse de fin d'automne ou croissance rapide de début de printemps? • Faut-il un système racinaire profond?
Survie hivernale	• La culture couvre-sol doit-elle survivre à l'hiver? • La culture couvre-sol convient-elle au type de sol et au calendrier de production si elle est tuée par le gel et séchée au printemps?
Possibilités de lutte	• La culture couvre-sol peut-elle se transformer en mauvaise herbe? • Comment la maîtriser? • Quels choix s'offrent pour la lutte?
Sensibilité aux herbicides	• La culture couvre-sol est-elle sensible aux résidus d'herbicides appliqués sur les autres cultures comprises dans la rotation?
Coût et disponibilité de la semence	• Quel est le coût de la semence? • Est-il facile de se la procurer dans la région?
Établissement	• Quelle est la meilleure façon d'effectuer les semis? • Faut-il du matériel différent? • La culture est-elle facile à implanter? • Peut-elle créer une couverture dense? Il faut qu'elle soit bien implantée pour assurer son succès.
Gestion des éléments nutritifs	• Produit-elle de l'azote ou exige-t-elle de l'azote pour sa croissance? • Est-elle efficace à puiser l'azote dans le sol?
Lutte contre les ravageurs	• De quelle famille de végétaux, la culture couvre-sol fait-elle partie? • Appartient-elle à la même famille que d'autres cultures comprises dans la rotation? • Peut-elle amener des problèmes de ravageurs?

Les renseignements sur les principaux couvre-sol utilisés sont fournis plus loin. Se référer aussi au tableau 2–6, *Production de matière sèche des cultures couvre-sol*, p. 23.

Tableau 2–7.
Caractéristiques des couvre-sol cultivés en Ontario

Espèce	Époque habituelle des semis	Taux de semis (kg/ha)[1]	Fixation d'azote[2]	Survie hivernale	Problèmes d'infestation posés par la repousse	Hôte du nématode[3]	
						des racines	cécidogène
Graminées							
Ray-grass	avril-mai ou août et début septembre	12–18	non	survie partielle du ray-grass annuel et du ray-grass d'Italie; survie hivernale du ray-grass vivace	non	–	–
Céréales de printemps	mi-août à septembre	100–125	non	destruction par le gel intense	non	+	–
Sorgho du Soudan	juin à août	50	non	destruction par le gel	non	0	–
Millet perlé	juin à août	4	non	destruction par le gel	non	–	–
Blé d'automne	septembre à octobre	100–130	non	très bonne survie hivernale	non	+	–
Seigle d'automne	septembre–octobre	100–125	non	très bonne survie hivernale	non	+[4]	–
Légumineuses							
Vesce velue	août	20–30	oui	survie hivernale	non	++	+
Trèfle rouge	mars–avril	8–10	oui	survie hivernale	non	++	+++
Mélilot	mars–avril	8–10	oui	survie hivernale	non	–	–
Soya	août	40–50	oui	destruction par le gel	non	–	–
Pois de grande culture	août		oui	destruction par le gel intense	non	–	–
Dicotylédones autres que des légumineuses							
Sarrasin	juin, juillet, août	50–60	non	destruction par le premier gel	oui	+++	0
Radis oléagineux	mi-août à début septembre	10–14	non	destruction par le gel intense	oui	0	0

Cote de classement (nématodes) : – = hôte rare ou non-hôte + = hôte 0 = certains cultivars ne servent pas d'hôtes

[1] 100 kg/ha = 90 lb/ac

[2] Le radis oléagineux, le sarrasin et le ray-grass ne fixent pas l'azote atmosphérique mais entreposent de grandes quantités d'azote tirées du sol et du fumier épandu.

[3] Des différences variétales entre les espèces de cultures couvre-sol peuvent influencer la réaction des nématodes.

[4] Seigle : la cote de classement pour la saison entière serait plus haute (+++).

Graminées

Les graminées ont des racines fines et fasciculées, bien adaptées pour retenir le sol en place et pour en améliorer la structure. Les espèces de graminées qui conviennent comme culture de couverture ont une croissance rapide et sont relativement faciles à détruire, de façon chimique, de façon mécanique ou par le gel. Les graminées ne fixent pas l'azote atmosphérique mais peuvent entreposer d'importantes quantités d'azote tirées du sol.

Ray-grass (annuel, d'Italie ou vivace)

Il peut être semé soit au printemps, en sol nu ou avec une céréale de printemps, soit en sol nu du mois d'août à la mi-septembre. Le semis à la volée dans une culture de maïs en fin juin ou au début juillet donne

aussi d'assez bons résultats. C'est le ray-grass annuel qui fournit le plus de rendement en vert dans l'année du semis, épiant souvent au bout de six à huit semaines après le semis. Le ray-grass d'Italie (bisannuel) ne vient pas en épi l'année du semis et produit donc beaucoup moins de feuillage cette année-là. Toutefois parmi les trois espèces, c'est le ray-grass d'Italie qui a le système racinaire le plus développé et le plus dense. Le ray-grass annuel et le ray-grass d'Italie subissent habituellement beaucoup de destruction par l'hiver bien qu'à l'occasion, une partie du peuplement puisse survivre. Le ray-grass vivace, appelé aussi ray-grass anglais, survit habituellement bien à l'hiver.

Mise en garde : *L'établissement et la croissance du ray-grass peuvent être insatisfaisantes par temps très chaud et très sec. Par ailleurs, le travail du sol au cultivateur ou au pulvériseur à disques n'est généralement pas suffisant pour détruire une prairie de ray-grass. L'azote immobilisé dans le ray-grass se dégage plus lentement que celui qui est immobilisé dans d'autres cultures de couverture. Ainsi, le maïs après le ray-grass a souvent besoin d'un supplément de 20 à 30 kg d'azote/ha (18–27 lb/ac).*

Céréales de printemps

Les céréales de printemps sont habituellement cultivées pour être enfouies. Les plants qui ont été partis entre la mi-août et la mi-septembre auront une partie aérienne mesurant de 20 à 40 cm (8–16 po) aux premières gelées. En général, la culture est détruite par les gels tardifs et intenses.

On laisse parfois la repousse de céréales de printemps croître jusqu'aux gelées, tirant ainsi profit de leur utilité comme plantes couvre-sol. Toutefois, ces peuplements peuvent manquer d'uniformité et leur croissance aérienne peut atteindre près de 70 cm (28 po) de hauteur à l'arrivée des gelées. À cause de sa grande épaisseur, le tapis végétal laissé par la culture empêchera le sol de s'assécher le printemps suivant. Sur les collines sensibles à l'érosion, il arrive souvent que les céréales de printemps aient de la difficulté à croître. On a déjà constaté que, le printemps venu, les céréales avaient été balayées en laissant tout le champ ouvert à l'érosion.

Mise en garde : *Lorsque les semis sont faits tôt, la culture a le temps de produire une masse végétale abondante avant les gelées. Laissé en surface à l'automne, ce tapis de résidus de culture entrave l'assèchement et le réchauffement du sol au printemps et peut donc causer de sérieux problèmes, en particulier où l'on pratique le semis direct.*

Sorgho du Soudan

Le sorgho du Soudan est un choix excellent comme engrais vert en vue d'améliorer le sol. Il déploie un système racinaire important et sa partie aérienne est abondante. Il est recommandé d'effectuer un traitement herbicide de présemis pour favoriser l'établissement. Les semis se font après que tout danger de gel est écarté, vers la mi-juin. La culture profitera des températures chaudes du début et du milieu de l'été. Un apport de 50 kg à l'hectare (45 lb/ac) d'azote permettra à la culture de produire un maximum de tiges et de feuilles.

Mise en garde : *On doit faucher le sorgho du Soudan avant qu'il n'atteigne 1 m (3,28 pi) de hauteur de façon à encourager le tallage et à s'assurer que les tiges ne deviennent pas ligneuses et se décomposent facilement.*

Millet perlé

Le millet perlé est une culture couvre-sol qui présente une croissance et des caractéristiques semblables au sorgho du Soudan.

Seigle d'automne

Le seigle d'automne peut être semé depuis septembre jusqu'à la mi-octobre. Il pousse jusqu'aux gelées et reprend sa croissance vers la fin mars ou le début avril, soit un peu avant le blé d'automne. Il croît très rapidement durant le mois de mai. En général, on détruit le peuplement en fin d'avril ou début de mai par un labour avec la charrue à socs ou par un traitement herbicide.

Le seigle d'automne peut être semé plus tard que la plupart des autres cultures couvre-sol sans pour autant être détruit par l'hiver. Pour qu'il couvre bien le sol et le protège contre l'érosion, on doit le semer au moins un mois avant le gel automnal. Le seigle d'automne est parmi les plantes couvre-sol les plus fiables, flexibles et économiques.

Mise en garde : *La croissance du seigle sera très rapide sous l'effet des températures chaudes du début du printemps. Il faut surveiller la croissance de façon à tuer le plant au moment opportun. Le seigle peut épuiser l'eau du sol et rendre l'incorporation difficile si la croissance est trop vigoureuse.*

Blé d'automne

Le blé d'automne peut être semé de la fin d'août jusqu'en octobre. Il est possible de le semer en d'autres temps mais, comme pour les céréales de printemps, les conditions climatiques peuvent ralentir la croissance aérienne. Le blé survivra à l'hiver et recommencera à croître en avril. Le peuplement peut être tué par travail du sol ou par pulvérisation d'herbicide. Comparativement au seigle, le blé arrête

de croître plus tôt à l'automne et reprend sa croissance plus tard au printemps.

Mise en garde : *En général, le blé ne produit pas autant de feuillage et n'offre pas une concurrence aussi vigoureuse aux mauvaises herbes que le seigle.*

Légumineuses

Les cultures de légumineuses peuvent fixer l'azote de l'air pour le rendre disponible aux cultures suivantes tout en protégeant le sol contre l'érosion et en ajoutant de la matière organique. La quantité d'azote fixé varie selon les espèces bien qu'elle soit en général proportionnelle à la taille de la partie aérienne. Certaines espèces de légumineuses disposent de racines pivotantes vigoureuses qui peuvent ameublir un sous-sol compacté; toutefois, pour produire cet effet, la plante doit être cultivée plus d'une année.

La quantité d'azote libéré par les légumineuses peut varier. Il est important d'en tenir compte lors des calculs des besoins en engrais.

Vesce velue

Pour qu'elle constitue un bon couvre-sol durant l'hiver, la vesce velue doit être semée au plus tard à la mi-août. Elle croît lentement jusqu'aux gelées et forme un réseau de racines fasciculées très vigoureux; sa partie aérienne est de taille moyenne. La vesce velue peut être semée dans le blé d'automne lorsque ce dernier atteint environ 20 cm (8 po) de hauteur. Semée à ce stade tardif, la vesce velue ne risque pas d'entraver la récolte du blé d'automne. Évidemment, une telle pratique permet d'obtenir, avant les gelées, une masse végétale plus abondante que si les semis avaient eu lieu au mois d'août.

Les tiges rameuses reprennent leur croissance tôt au printemps (à la même époque que le blé d'automne) et peuvent atteindre une longueur de 150 cm (60 po) si on ne les coupe pas avant la maturité. Les peuplements servant d'engrais vert sont habituellement détruits par le travail du sol ou par désherbage chimique. Le système racinaire fasciculé de cette vesce améliore la structure du sol, et la plante entière constitue une source importante de matière organique pour le sol.

Mise en garde : *La concurrence exercée par la repousse de céréales peut réduire les densités de peuplement de la vesce velue. Les sols séchants sur lesquels la vesce velue continue de croître jusqu'au début de mai risquent de manquer d'eau pour la culture suivante. Le glyphosate n'est pas efficace contre la vesce velue. Si les cultures subséquentes sont sensibles aux hormones, les pulvérisations devront se faire à l'automne pour éviter tout dommage.*

Trèfle rouge

Dans les champs de blé d'automne, le trèfle rouge est souvent semé à la volée, en mars ou au début d'avril, mais pour ce qui est des céréales de printemps, la mise en terre du trèfle rouge s'effectue en même temps que les céréales. On obtient les meilleurs peuplements à partir des semis qui sont faits tôt dans la saison. Le trèfle rouge à deux coupes produit une partie aérienne beaucoup plus importante que celui à une coupe, soit 60 cm contre 25, respectivement. Comme engrais vert, la semence ordinaire produit autant que la semence sélectionnée, mais elle peut contenir plus de graines de mauvaises herbes.

C'est depuis la récolte des céréales jusqu'aux gels intenses que se produit le plus gros de la croissance du trèfle rouge. Sa destruction peut avoir lieu en automne ou au printemps, au moyen d'un travail du sol ou avec des herbicides. À moins qu'on se serve également d'herbicides, le travail du sol avec un chisel ne réussit pas à détruire complètement la culture.

L'enfouissement du trèfle rouge améliore la structure du sol et fournit à la terre une quantité considérable de matière organique. Cette plante fixe l'azote et le libère graduellement pour la culture suivante. Le trèfle rouge constitue une excellente protection contre l'érosion s'il est laissé jusqu'au printemps ou s'il est détruit à l'automne au moyen d'un herbicide.

Mise en garde : *Souvent, le glyphosate utilisé seul ne réussit pas à détruire le trèfle rouge. Si des cultures sensibles aux hormones font suite au trèfle dans la rotation, on doit pulvériser les hormones à l'automne pour écarter tout risque de dommages.*

Mélilot

Le plus souvent, on met en terre le mélilot au mois de mars ou au début d'avril comme sous-semis du blé d'automne ou on le sème avec les céréales de printemps. Il existe des cultivars à fleurs jaunes et d'autres à fleurs blanches; ces derniers donnent des plantes un peu plus hautes. Le gros de la croissance se produit une fois que la récolte des céréales est terminée, jusqu'aux fortes gelées. La partie aérienne atteint habituellement une hauteur de 30 à 40 cm (12 à 16 po), mais elle n'est pas dense. Le plant est supporté par une racine pivotante très robuste, qui fait en général 30 cm de long et 1 cm de diamètre au niveau du collet. Si on laisse la culture reprendre au printemps suivant, le mélilot fleurira en juillet, s'élèvera jusqu'à 180 cm (72 po), montera à graines puis mourra. Comme engrais vert, la culture peut être détruite à l'automne ou au printemps suivant, par le travail du sol ou au moyen d'herbicides.

Mise en garde : Le mélilot est très sensible à de nombreux herbicides; il ne tolère aucun produit de type phénoxy.

Soya
Le soya peut être semé à la suite des céréales de printemps ou d'automne. Avec une humidité adéquate, sa partie aérienne atteint 20 à 40 cm (8 à 16 po) avant d'être tuée par le gel. L'inoculation ne devrait pas être nécessaire à moins que le soya ne soit semé en sol vierge.

Mise en garde : Pour germer, le soya a besoin de plus d'humidité que les cultures à plus petite semence; les résultats seraient décevants par temps sec. Puisque le soya est une culture de saison chaude, la croissance ralentit ou cesse avec le temps plus frais à l'automne.

Pois de grande culture
La partie aérienne des pois de grande culture atteint 60 à 90 cm (24 à 36 po) avant le gel s'ils sont semés après la récolte de céréales. Ils vivent dans des conditions humides et fraîches, et connaîtront une croissance vigoureuse jusque tard à l'automne. À titre de couvre-sol, ils présentent comme principal inconvénient le volume et le prix de la semence nécessaire.

Mise en garde : Une épaisse couche de résidus d'un peuplement vigoureux de pois de grande culture peut nuire à l'assèchement du sol au printemps, retardant ainsi le travail du sol ou les semis.

Dicotylédones autres que des légumineuses

Ces cultures dicotylédones ne peuvent pas fixer l'azote de l'air mais peuvent en puiser de grandes quantités dans le sol. Ni l'une ni l'autre de ces cultures n'est rustique à l'hiver; c'est dire qu'aucune mesure de lutte additionnelle n'est nécessaire, mais il ne faut pas les laisser monter à graines étant donné que les repousses peuvent se transformer en plantes nuisibles.

Sarrasin
Comme plante couvre-sol, le sarrasin est semé le plus souvent entre la fin juin et le début août. Il croît très rapidement : en quelque six semaines, il parvient au stade de la floraison et s'élève alors d'environ 45 à 75 cm (18 à 30 po) au-dessus du sol. Ses racines, du type fasciculé, forment un réseau peu étendu. Le sarrasin ne survit pas aux premiers gels.

Le sarrasin couvre rapidement le sol, offre une bonne protection contre l'érosion pendant la saison de croissance, étouffe les mauvaises annuelles et détruit la partie aérienne des vivaces. Une fois enfoui comme engrais vert, il fournit au sol une quantité modérée de matière organique. Cette culture ne fixe pas l'azote.

Mise en garde : Les plants qui ont été semés à la fin de l'été sont détruits par les gelées précoces, avant même de connaître une croissance appréciable.

Radis oléagineux
Le radis oléagineux est couramment semé au mois d'août ou très tôt en septembre. Il n'est pas sensible aux gels précoces, peut croître jusqu'à une hauteur de 50 à 90 cm (20–36 po) et fleurir en octobre. La plante tient en place grâce à sa racine pivotante courte mais épaisse, dont la forme est intermédiaire entre celles de la carotte et du rutabaga. Sa longévité ne va pas au-delà des froids intenses de fin novembre ou de décembre. Le radis oléagineux forme un couvre-sol assez rapidement, offre une excellente protection contre l'érosion durant l'hiver et, comme engrais vert, fournit une quantité moyenne de matière organique. Pour connaître une bonne croissance, il doit disposer d'une grande réserve d'azote biodisponible provenant soit d'un épandage récent de fumier, soit d'une quantité d'azote inutilisée par la culture précédente.

Mise en garde : La croissance sera restreinte si la teneur en azote du sol est basse. Des plants spontanés de radis oléagineux lèvent habituellement çà et là dans les cultures suivantes.

Travail du sol après une culture couvre-sol

Les plantes couvre-sol semées entre deux cultures céréalières permettent de réduire le risque d'érosion en créant une couverture protectrice, en améliorant la structure du sol et, dans les systèmes de conservation, en augmentant la proportion de sol couverte par les résidus.

Facteurs de gestion à considérer quand on pratique le travail réduit derrière une culture couvre-sol :

- Les plantes couvre-sol, quelles soient annuelles d'automne, bisannuelles ou vivaces, repoussent spontanément au cours de la campagne suivante. En général, les repousses ne résistent pas à un traitement herbicide normal effectué sur la culture suivante. Par ailleurs, bien maîtrisée la repousse peut, le printemps, offrir une certaine protection contre l'érosion éolienne.
- Les premières opérations de travail réduit du sol, dans le cas des cultures couvre-sol qui résistent à l'hiver, doivent avoir lieu au moins deux semaines avant le semis pour que débute la décomposition des résidus de culture.
- La préparation du lit de semence peut poser des difficultés lorsque la destruction des plantes

couvre-sol persistantes n'est effectuée qu'au printemps et qu'on les laisse trop pousser.
- Les plantes couvre-sol détruites par l'hiver constituent une solution valable, surtout sur les terres mal drainées ou lorsqu'on effectue les semis très tôt au printemps.
- Avant de les retourner, il est bon de détruire chimiquement les plantes couvre-sol qui survivent à l'hiver, comme le seigle. Une application minutieuse d'herbicide au moment opportun peut aider à garder assez de résidus en surface pour empêcher les dégâts causés par le vent aux cultures sensibles, tout en permettant l'établissement des cultures en question.

Compactage du sol

Le compactage du sol est défini comme l'augmentation de la densité apparente du sol et la réduction de l'espace poral. Ce phénomène résulte de l'écrasement des particules du sol sous le poids de la machinerie et des animaux et sous l'impact des gouttes de pluie. L'emploi de matériel lourd — tracteurs, moissonneuses et autres pièces de machinerie — en particulier pendant les travaux de printemps, peut compacter le sol, quel que soit le système de travail du sol.

Les sols riches en matière organique, dotés d'un bon drainage interne et d'une bonne structure, résistent mieux au compactage. Pour plus de renseignements, voir la fiche technique du MAAARO, *La compaction du sol*, commande n° 89-055.

Détection du compactage

Il est possible de détecter facilement le compactage du sol au moyen d'outils économiques.

- Déterminer les secteurs pouvant présenter des problèmes potentiels de compactage.
- À l'aide d'une sonde à tuyau ou d'un tuyau flexible, sonder la zone affectée jusqu'à une profondeur de 50 cm (20 po) et comparer à une zone non affectée, comme une haie-clôture.
- Insérer la sonde dans le sol à une vitesse lente et constante.
  - Les bras légèrement pliés agissent comme une jauge de pression et mesurent la force nécessaire pour pousser l'extrémité de la sonde au travers du sol.
  - Noter les profondeurs auxquelles l'extrémité de la sonde semble pénétrer plus difficilement le sol. Ce sont peut-être des zones que les racines ne pourront pénétrer.
- Avec une pelle, déterrer les plants dans la zone affectée et en examiner les racines. Les comparer à celles des plants sains d'une zone non affectée. Dans la zone de compactage, les plants auront des racines difformes ou plus frêles. Le système racinaire devrait être concentré dans les quelque pouces supérieurs du sol.

Note : Il faut que les teneurs en humidité soient similaires dans les zones où l'on mesure le compactage au moyen d'une sonde pour que l'on puisse comparer les résultats.

Prévention du compactage

Divers choix de gestion s'offrent en vue d'éviter le compactage du sol.

- Éviter d'aller au champ surtout avec du matériel lourd lorsque le sol est humide. Un sol sec possède une bien meilleure capacité portante qu'un sol humide.
- Effectuer le travail du sol lorsque ce dernier présente une humidité adéquate à la profondeur du travail à exécuter.
- Installer des drains agricoles dans les champs où le drainage est faible ou trop variable.
- Effectuer une rotation des cultures plus longue, et y inclure des cultures céréalières ou fourragères.
- Pratiquer les cultures fourragères plus d'une année.
- Alterner la profondeur de travail du sol afin de ne pas créer de semelles de labour.
- Minimiser la circulation dans un champ.
- Utiliser des pneus radiaux, des pneus larges ou des chenilles qui laissent une empreinte longue et étroite afin de réduire le compactage.
- Abaisser la pression des pneus afin de réduire la pression qui s'exerce sur la surface du sol. Cette technique ne sera efficace qu'avec des pneus radiaux ou des pneus assez larges pour porter le matériel à des pressions restreintes. Vérifier auprès du fabricant si les pneus peuvent être efficaces à des pressions plus basses.
- Éviter que la charge par essui soit trop lourde car le sous-sol pourrait s'en trouver compacté, même avec des pneus peu gonflés. Alléger le plus possible le matériel et les chargements (en deçà de 4,5 t/essieu ou 5 tonnes imp./essieu). Le plus souvent possible, limiter la circulation du matériel lourd aux voies d'accès plutôt que dans tout le champ.

Sous-solage

Le sous-solage est souvent utilisé pour défoncer des zones de champ qui ont été tassées par la circulation de lourdes charges. Les travaux de récolte de certaines cultures laissent le sol si compacté par endroit que le

sous-solage est le seul remède. En général, cette opération n'a pas d'effets à long terme. Avant de procéder au sous-solage, toujours vérifier la profondeur de la couche compactée au moyen d'une sonde à tuyau ou d'une fosse d'observation et vérifier si le sol est humide à la profondeur nécessaire. Si le sol n'est pas compacté, un labour en profondeur n'est pas avantageux et peut même endommager la structure du sol sous la profondeur normale du travail.

Pour éviter la réapparition du problème, il faut modifier les pratiques de gestion du sol, de récolte et d'épandage du fumier, ce qui suppose notamment d'alléger les charges et de s'abstenir de rouler dans les champs quand ils sont détrempés.

Drainage

Un bon drainage est essentiel pour toute exploitation agricole. Il augmente le rendement de la plupart des cultures et améliore l'efficacité globale.

Drains agricoles

Les drains agricoles permettent d'éliminer artificiellement l'excès d'eau du sol. En fait, les drains augmentent la quantité d'eau disponible dans le sol en permettant aux racines d'avoir accès à un volume plus grand de sol.

Le drainage constitue une pratique de conservation importante. Il permet de réduire le ruissellement en laissant plus d'humidité dans le sol.

Drainage de surface

Le drainage de surface est souvent utilisé pour extraire l'eau de champs ou de zones relativement plates. Alors qu'il sert à extraire l'eau de certaines parties d'un champ, il peut par ailleurs contribuer à l'érosion du sol et au transfert d'éléments nutritifs dans les eaux de surface.

Gestion de la nappe phréatique

Traditionnellement, l'installation de drains agricoles permettait simplement d'extraire l'excès d'eau du sol. Plus récemment, des recherches ont démontré que ces drains servent un double but : extraire l'excès d'eau et approvisionner la culture en eau. En contrôlant l'écoulement de l'eau dans les drains, on maintient les niveaux des eaux souterraines à proximité de la zone des racines. Cette source d'humidité constante réduit le stress et favorise la production. En contrôlant la quantité d'eau qui s'écoule des drains, on arrive à un meilleur usage des éléments nutritifs et des engrais.

Lutte contre l'érosion

Il est possible de réduire la quantité de sol perdu d'un champ ou de lutter contre ce type d'érosion grâce à plusieurs mesures déjà mentionnées dans ce chapitre. On réduit l'érosion due au travail du sol en diminuant le nombre de façons culturales. Le travail minimal du sol, le semis direct, un drainage amélioré et la rotation des cultures, y compris le recours à des cultures couvre-sol, peuvent contribuer grandement à réduire l'érosion due au vent ou à l'eau. Dans certaines situations, ces mesures ne suffisent pas et d'autres pratiques de conservation du sol deviennent nécessaires. Le tableau 2-8, *Lutte contre l'érosion hydrique*, p. 31, dresse la liste d'un certain nombre d'ouvrages de lutte contre l'érosion et de leur usage.

Lutte contre l'érosion hydrique

Il est souvent nécessaire d'aménager des ouvrages permettant d'intercepter l'eau pouvant causer une ravine ou une rigole dans un champ (voir tableau 2-8, *Lutte contre l'érosion hydrique*, p. 31). Ces ouvrages exigent moins d'entretien s'ils sont combinés à un travail réduit du sol ou au semis direct. On peut aussi avoir recours à la culture en bandes alternantes pour protéger le sol de l'érosion hydrique — un système selon lequel une bande de culture sarclée fait alternance avec une bande de culture fourragère ou céréalière. En combinant un travail de conservation à la culture en bandes alternantes, on augmente la largeur des bandes nécessaires.

Protection des fossés et des ruisseaux

Une grande quantité de sédiments dans l'eau provient souvent des berges des fossés et des ruisseaux. Les berges non protégées continuent de s'éroder, rongeant peu à peu les terres agricoles. L'intérêt grandissant pour la protection des eaux de surface et des eaux souterraines dénote l'importance de cette ressource. La protection des berges des fossés et des ruisseaux peut faire l'objet de certaines mesures, tout comme l'eau qui y circule. Un débit trop élevé et le passage de la machinerie ou du bétail peuvent concourir à l'érosion des berges. Des débits concentrés peuvent former des rigoles ou des ravines à leur arrivée dans un cours d'eau. On stabilise généralement les berges de ruisseaux et de fossés à l'aide d'un des éléments suivants : colonne de descente, chute enrochée, zone tampon, protection des sorties de canalisations de drainage souterrain ou tube collecteur.

Tableau 2–8.
Lutte contre l'érosion hydrique

Pratique de lutte contre l'érosion	Description	Usage	Observations
Bassin de retenue de l'eau et des sédiments	• ouvrage aménagé en travers des voies de drainage • fonctionne comme un petit barrage • intercepte le ruissellement concentré et l'achemine sous terre au moyen d'un drain	• protection d'un champ ou de la ferme contre les érosions par ravinement et en rigoles • utile dans les champs aux pentes irrégulières ou non uniformes • en remplacement des voies d'eau gazonnées	• relativement peu cher à installer
Voies d'eau gazonnées	• canaux larges et peu profonds • le couvert de gazon protège contre l'érosion	• protection d'un champ ou de la ferme contre les érosions par ravinement et en rigoles • exutoire pour les terrasses, dérivations, rangs de contour, ou transport de l'eau qui pénètre dans le champ à partir de champs environnants	• le matériel peut facilement traverser les voies d'eau • les rangs de la culture doivent être perpendiculaires aux voies d'eau
Terrasse de dérivation	• canal de dérivation avec un talus du côté inférieur	• aménagement perpendiculaire à la pente pour intercepter le ruissellement de surface et l'évacuer vers un exutoire	
Terrasse	• construite le long d'une pente • sert à briser les pentes longues • l'excès d'eau est acheminé hors du champ • les trois principaux types sont à base élargie, à base étroite ou à voie gazonnée	• protection contre les érosions par ravinement, en rigoles et en nappe	• ouvrage antiérosif le plus coûteux • l'espacement entre les terrasses dépend de l'inclinaison de la pente, de l'érodabilité du sol, du type de culture, de l'abondance des pluies et de la gestion
Culture en bandes alternantes			
1. Culture en bandes alternantes suivant les courbes de niveau	• les bandes sont semées à angle droit par rapport à la pente naturelle	• protection contre les érosions en nappe et en rigoles	• de l'assistance technique peut être nécessaire pour établir les courbes de niveau • peut réduire l'érosion jusqu'à 75 %
2. Culture en bandes alternantes	• des bandes de largeur uniforme sont perpendiculaires à la pente	• protection contre les érosions en nappe et en rigoles	• forme la plus répandue de culture en bandes alternantes • peut réduire l'érosion jusqu'à 75 %
3. Culture de bandes enherbées en alternance avec la culture	• bandes permanentes de gazon ou de cultures fourragères entre des bandes de largeur égale de cultures en rotation régulière	• protection contre les érosions en nappe et en rigoles	• la largeur des bandes dépend des cultures de la rotation et de l'inclinaison de la pente

Il faut éviter que le bétail n'ait accès aux cours d'eau : le clôturage constitue souvent une bonne solution. Des ponts, des ponceaux ou des passages constituent certaines des solutions qui s'offrent pour le déplacement en toute sécurité de la machinerie et du bétail.

Brise-vent

Il faut souvent une protection supplémentaire contre le vent s'il n'y a pas assez de résidus pour que le sol reste en place. En ralentissant la vitesse du vent, le brise-vent offre une protection près du sol. Il existe deux types de brise-vent : le premier, plus fréquent,

est composé de cinq rangs ou moins et le second, de six rangs et plus.

Abandon d'une terre fragile

Il arrive à l'occasion que l'on ne puisse lutter contre l'érosion dans un champ ou l'une de ses parties. L'érosion peut être trop grande ou le champ peut présenter également d'autres problèmes qui le rendent moins rentable pour la culture ou en font une ressource moins durable. Les parcelles de terre fragiles comprennent entre autres les secteurs près des ruisseaux, des lacs et des terres humides, qui peuvent être inondés ou d'autres parcelles soumises à une érosion grave. Ces parcelles de terre ne devraient plus faire partie de la zone productive; elles devraient plutôt être consacrées au pâturage ou au reboisement.

Qualité de l'eau

L'eau est une ressource précieuse. Un approvisionnement abondant en eau propre est primordial pour la réussite d'une exploitation agricole et la santé de la famille vivant sur la ferme. L'eau est aussi une ressource qu'on partage, notamment avec les faunes terrestre et aquatique. Chaque producteur a le droit de s'attendre à un approvisionnement abondant en eau propre et a en même temps l'obligation de s'assurer que l'eau qui quitte sa ferme est abondante et propre pour l'utilisateur suivant.

Les exploitations agricoles influencent la qualité de l'eau de bien des façons. La qualité de l'eau de surface peut être affectée par l'érosion du sol, les fumiers, les effluents des systèmes septiques, les déchets de laiterie, les pesticides et les carburants. La qualité de l'eau souterraine peut être affectée par les éléments nutritifs, les fumiers, les pesticides et les carburants qui s'infiltrent dans le sol et gagnent la nappe phréatique.

En ce qui concerne la qualité de l'eau, les plus grands défis que doivent relever les producteurs sont ceux que soulèvent les bactéries (provenant des fumiers), les nitrates et les sédiments. Par comparaison, la contamination par les pesticides est un problème beaucoup moins grave. Les problèmes ci-dessous peuvent être atténués grâce aux pratiques suggérées.

Contamination par les bactéries

- Prévenir le ruissellement provenant des installations de stockage du fumier, des cours à bestiaux et des silos;
- Éviter d'épandre du fumier sur des sols gelés ou couverts de neige;
- Bien entretenir les puits afin de prévenir toute contamination par les eaux de surface;
- Traiter convenablement ou entreposer les eaux usées provenant de la laiterie;
- S'assurer du bon fonctionnement du système septique domestique et veiller à ce que celui-ci ne se déverse pas dans les drains agricoles.

Érosion du sol

- Adopter des pratiques de conservation du sol telles qu'elles sont décrites ci-dessus;
- Aménager des ouvrages de lutte contre l'érosion.

Contamination par les nitrates

- Doter l'exploitation d'un plan de gestion des éléments nutritifs;
- Éviter d'épandre des quantités excessives de fumier ou d'engrais sur un champ;
- Là où l'on utilise beaucoup de fumier ou de fourrages, obtenir une analyse de la teneur du sol en nitrates pour aider à déterminer les besoins en azote;
- Réduire les apports d'engrais azoté lorsque la culture précédente était une légumineuse ou lorsque du fumier a été épandu (se référer à la rubrique *Réduction des quantités d'engrais recommandées*, p. 41).

Contamination par les pesticides

- Entreposer les pesticides en lieu sûr et en garder le moins possible;
- Pendant les pulvérisations, se tenir à distance des fossés et des autres sources d'eau;
- Nettoyer tout déversement rapidement et à fond;
- Prendre garde de ne pas mélanger plus de pesticides que nécessaire.

Contamination par les carburants

- Entreposer le carburant loin des puits, des fossés, etc.
- Utiliser des pistolets à arrêt automatique pour éviter tout déversement accidentel.

Pour plus d'information sur les problèmes liés à la qualité de l'eau et les solutions à envisager, les pratiques de conservation du sol, ou l'utilisation des fumiers et des éléments nutritifs, on peut consulter les fascicules suivants, publiés par le MAAARO, Agriculture et Agroalimentaire Canada et la Fédération de l'Agriculture de l'Ontario, dans la série *Les pratiques de gestion optimales* :

- *Gestion de l'eau*
- *Grandes cultures*

- *Gestion des éléments nutritifs*
- *Entreposage, manutention et applications des pesticides*
- *Les puits.*

Pour plus d'information sur l'analyse des sols et l'usage des fertilisants, consulter la publication 611F, *Manuel sur la fertilité du sol.*

Analyse du sol

En Ontario, on utilise actuellement quelque 690 000 tonnes métriques (760 000 tonnes impériales) d'engrais par année. Or, leur emploi ne s'avère profitable que s'il est justifié par des données sur la fertilité du sol et sur l'apport en éléments fertilisants du fumier, des résidus de culture et d'autres sources de matière organique. D'une part, sur les sols très pauvres, on a parfois avantage à remettre dans le sol autant et même plus d'azote, de phosphore et de potasse que ce qui est enlevé par la culture. D'autre part, toute fertilisation de sols déjà très fertiles ou ayant bénéficié peu auparavant d'un apport important de fumier pourrait n'entraîner aucun profit additionnel et même nuire aux rendements.

Pourquoi faire analyser le sol?

Il faut exiger les analyses de sol reconnues par le MAAARO. Elles constituent le meilleur moyen dont disposent les agriculteurs ontariens pour déterminer les quantités précises de phosphore, de potassium, de magnésium et de chaux nécessaires aux cultures.

Autres méthodes d'évaluation des besoins en éléments nutritifs

1. L'analyse des tissus végétaux est la méthode la plus utilisée en arboriculture fruitière. Pour ce qui est des grandes cultures et des productions légumières, elle complète l'information fournie par l'analyse de sol.
2. Les symptômes de carence nutritionnelle sur les feuilles peuvent être très utiles dans certains cas, mais dans d'autres, comme pour ce qui est du phosphore et du potassium, ils présentent des inconvénients graves du fait que des pertes de rendement considérables peuvent être enregistrées avant même que les symptômes ne soient visibles.
3. Certains maintiennent que le producteur doit remettre au sol la quantité d'éléments fertilisants qui a été enlevée par la culture. Une telle règle semble valable pour l'azote puisque, pour certaines cultures, on remet approximativement ce qui a été utilisé. Par contre, elle s'applique rarement aux autres éléments fertilisants en Ontario. En effet, on trouve dans la province des argiles et des loams argileux qui ont du potassium en réserve pour de nombreuses années; un apport annuel de potassium constituerait donc une dépense inutile et ne saurait pas tirer partie d'un des quelques avantages que présente ce type de sol par rapport aux sols de texture plus grossière.

Tableau 2–9.
Analyses de sol reconnues par le MAAARO

Matériau analysé	Résultats[1]
Sol de grandes cultures, de gazon commercial, etc.	Biodisponibilité du phosphore (bicarbonate de sodium extractible), du potassium, du magnésium (acétate d'ammonium extractible), du manganèse et du zinc (indice de pH du sol et élément extractible); pH; besoin en chaux (tampon Shoemaker, Maclean et Pratt – SMP)

[1] La teneur en matière organique peut aider à faire les recommandations d'herbicides mais ne fait pas partie des analyses reconnues par le programme.

Les analyses de sol faites dans les laboratoires accrédités par le MAAARO constituent, avec les analyses de tissus végétaux et les symptômes de carence nutritionnelle, le meilleur moyen de déterminer les besoins en engrais d'une culture précise dans un champ particulier.

Programme d'analyse de sol du MAAARO

Le programme d'analyse de sol du MAAARO fournit l'assurance d'analyses adéquates à l'appui des recommandations sur les besoins en azote, en phosphate, en potasse et en magnésium, ainsi que des recommandations sur la quantité et le type de chaux nécessaire. Les méthodes d'analyse utilisées ont été sélectionnées pour obtenir des résultats exacts pour toute gamme des sols que l'on trouve en Ontario. Le tableau 2–9, *Analyses de sol reconnues par le MAAARO*, ci-dessus, dresse la liste des analyses effectuées lors d'une analyse de sol reconnue en Ontario.

La teneur en azote des nitrates peut être mesurée sur un échantillon distinct, prélevé plus profondément. Voir la rubrique *Azote*, p. 74, pour plus de renseignements.

On obtiendra des rendements économiques maximaux si, en plus d'utiliser les doses d'engrais

Les résultats des analyses de sol pour les teneurs en phosphore, en potassium et en magnésium sont donnés en milligrammes par litre de sol (mg/L), ce qui est approximativement l'équivalent des parties par million (ppm). Le phosphore biodisponible est mesuré au moyen d'un extrait de bicarbonate de soude (aussi appelé extrait Olsen). Le potassium et le magnésium biodisponibles sont mesurés au moyen d'un extrait d'acétate d'ammonium. Le manganèse et le zinc sont rapportés à titre d'indices qui tiennent compte à la fois de la quantité d'éléments nutritifs extraite du sol et du pH du sol. Le pH du sol possède une incidence énorme sur la quantité de cet élément nutritif qui sera biodisponible.

Ces analyses sont à ce jour les plus exactes quant aux éléments nutritifs biodisponibles dans le sol en Ontario.

recommandées dans la présente publication, on adopte des techniques agronomiques allant de bonnes à supérieures à la moyenne. La recherche a montré qu'on pouvait à l'occasion hausser les rendements en utilisant une dose supérieure aux recommandations du MAAARO, mais que cette hausse de rendement serait probablement négligeable et peu profitable. Par ailleurs, les quantités recommandées dépassent parfois quelque peu le seuil de rentabilité. Une telle pratique est souhaitable pour maintenir une fertilité élevée du sol et pour tenir compte des erreurs d'échantillonnage dans un champ. Pour des cultures de grande valeur, telles que le tabac, la dose à utiliser sera celle qui permettra le meilleur rendement et la plus grande qualité. Par contre, pour les cultures de moindre valeur, il se peut qu'on obtienne une légère augmentation de rendement si l'on utilise plus d'engrais que la recommandation. Cependant, des essais à la ferme sur du maïs ont montré que les rendements n'augmentaient pas si l'on dépasse les doses d'engrais recommandées par l'analyse de sol. Pour se faire aider dans l'interprétation des résultats d'analyses de sols, on peut s'adresser à un conseiller en cultures accrédité ou communiquer avec le Centre d'information du MAAARO au 1 877 424-1300.

Se référer à l'annexe B, *Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario*, p. 303, pour la liste des laboratoires accrédités en Ontario.

Prélèvement des échantillons

Les sols peuvent être échantillonnés avec une sonde ou une pelle. Chaque champ ou partie de champ distincte doit faire l'objet d'un échantillonnage séparé. Il faut prendre au moins 20 échantillons à 15 cm (6 po) de profondeur par champ ou par superficie de 5 hectares ou moins. Pour les superficies supérieures à 5 hectares (12,5 ac), on doit augmenter proportionnellement le nombre d'échantillons. Se référer à la figure 1-1, *Schémas de dépistage*, p. 3, pour connaître le schéma d'échantillonnage à respecter. Plus on prélève d'échantillons, plus l'analyse sera précise et représentative de la fertilité du champ. Aucun échantillon global ne devrait représenter plus de 10 ha (25 ac).

Le producteur doit recueillir les échantillons dans un seau propre en plastique, briser les mottes, bien mélanger la terre puis y prélever l'échantillon à expédier au laboratoire aux fins d'analyse. Il doit prélever les échantillons à intervalles réguliers le long d'un tracé en zigzag qui traverse tout le champ. Les parties de champ qui diffèrent par l'aspect du sol ou le type de culture envisagée ou qui n'ont pas reçu les mêmes doses d'engrais, de fumier ou de chaux doivent être échantillonnées séparément même si

Analyses de sol par des laboratoires non accrédités

Chaque année, un certain nombre de producteurs demandent au personnel du MAAARO d'interpréter les résultats provenant d'autres laboratoires. Les recommandations portant sur les besoins en phosphore et en potasse sont valables, quel que soit le laboratoire, pour autant que les méthodes d'analyse utilisées et les unités servant à exprimer les résultats sont identiques à celles employées par les laboratoires accrédités, mais rien ne peut en garantir l'exactitude.

Les recommandations concernant la fertilisation ne devraient reposer que sur les analyses de sol reconnues par le MAAARO. Le producteur doit s'assurer de faire affaire avec un laboratoire accrédité. Pour obtenir l'accréditation, chaque laboratoire doit utiliser les méthodes d'analyse reconnues par le MAAARO, faire preuve d'une précision analytique et d'une justesse considérées comme acceptables et faire ses recommandations d'engrais selon les normes mises au point par le MAAARO.

Un certain nombre de laboratoires déterminent la capacité d'échange d'ions ainsi que la teneur du sol en aluminium et en cuivre. Or ces analyses ne sont pas reconnues par le MAAARO parce que rien n'indique qu'elles contribuent à améliorer l'exactitude des recommandations. La recherche a montré qu'en Ontario, l'utilisation de la capacité d'échange pour corriger la quantité de potasse à apporter peut aboutir à des recommandations moins fiables que celles fournies actuellement.

leur superficie est trop petite pour qu'on puisse les traiter à part. Il faut éviter de prélever des échantillons dans les bandes fertilisées depuis peu, les dérayures ou refentes, les abords de chemins en gravier et les endroits où l'on a entassé du fumier, du compost, de la chaux ou des résidus de récolte.

Quand échantillonner?

Chaque champ devrait être échantillonné au moins une fois tous les 2 ou 3 ans. La teneur en potasse peut varier rapidement dans les sols sableux utilisés pour des cultures telles que la luzerne, le maïs à ensilage, la pomme de terre et la tomate, qui s'accaparent une grande quantité d'éléments fertilisants. Si tel est le cas, un prélèvement doit être fait chaque année.

Pour que les résultats d'analyse lui parviennent à temps, c'est au cours de l'automne précédent que le producteur doit prélever les échantillons dans les champs qui seront ensemencés au printemps. Toutefois, compte tenu du surcroît de travail au moment des récoltes et de la fréquence des pluies à cette époque de l'année, certains producteurs feraient mieux d'échantillonner ces sols en été.

Boîtes à échantillons et feuilles de renseignements

On peut se procurer les boîtes à échantillons de sol et les feuilles de renseignements ainsi que le prix des différentes analyses auprès des laboratoires reconnus ou auprès de nombreux fournisseurs d'engrais et de produits agricoles.

Les facteurs qui influent sur les recommandations sont l'épandage de fumier, l'enfouissement de foin de légumineuses et la culture à fertiliser. Il est impossible de faire des recommandations valables sans cette information. Voilà pourquoi ces données doivent être inscrites relativement à chaque champ, sur la feuille qui accompagne l'échantillon de sol transmis au laboratoire.

Analyses portant sur les oligo-éléments

Les analyses de sol reconnues par le MAAARO peuvent aussi déterminer la teneur du sol en zinc et en manganèse. Dans le cas du zinc, pour la culture du maïs, la meilleure méthode consiste à associer les résultats d'analyse avec les symptômes de carence. Pour ce qui est du manganèse, l'analyse des tissus, les symptômes de carence et l'analyse du sol sont tous utiles. Par contre, les analyses reconnues par le MAAARO ne révèlent pas les teneurs en bore, en cuivre, en fer et en molybdène. Les analyses offertes pour ces oligo-éléments n'ont pas fourni de bons résultats sur leur biodisponibilité. En général, les analyses des tissus végétaux donnent une meilleure indication des carences en ces éléments.

Contamination

Certaines précautions s'imposent si on ne veut pas fausser les résultats des analyses du sol par le contact des échantillons avec des oligo-éléments, en particulier le zinc. C'est pourquoi il ne faut pas utiliser de sondes à tube galvanisé (plaqué de zinc) pour échantillonner un sol dans lequel on veut déterminer les teneurs en oligo-éléments. On ne doit pas utiliser de contenants en métal pour ramasser et mélanger les échantillons, mais plutôt des contenants en plastique propres et en bonne condition. Les échantillons qui sont entrés en contact avec des surfaces galvanisées ne doivent pas être testés pour leur teneur en zinc. Prendre soin de ne pas laisser entrer de poussière, entre autres dans les boîtes à échantillons.

Échantillonnage du sol

Dans un champ quelconque, les carences en oligo-éléments se retrouvent fréquemment en des endroits précis et peu étendus. Si tel est le cas, les échantillons de sol ou de tissus végétaux pris à la grandeur du champ ne permettront probablement pas de déceler le problème. Il faut habituellement échantillonner ces zones séparément.

Analyse des tissus végétaux

L'analyse des tissus végétaux permet de mesurer la teneur en éléments nutritifs des tissus d'une plante. En comparant les résultats obtenus par rapport aux valeurs « normales » et « critiques » pour une culture quelconque, on peut déterminer si l'apport en éléments nutritifs est propice à la croissance optimale de la plante.

C'est sur l'analyse des tissus végétaux que reposent les recommandations d'engrais pour les arbres fruitiers et la vigne. Par ailleurs, l'analyse des tissus végétaux complète les renseignements fournis par l'analyse du sol quand il s'agit d'évaluer le niveau de fertilité d'autres cultures. Elle permet de vérifier l'exactitude des teneurs en phosphore, potassium, magnésium et manganèse car elle est indépendante de l'analyse du sol. Elle ne révèle pas toutefois de manière fiable les teneurs du sol en azote et en zinc. Pour le bore et le cuivre, il n'existe pas d'analyses de sol concluantes, donc l'analyse de tissus et l'observation des symptômes de carence sur la plante restent les seuls moyens de diagnostiquer une carence pour ces deux éléments.

L'analyse des tissus végétaux a aussi ses limites. Il est souvent difficile d'interpréter les résultats car l'analyse des tissus végétaux n'indique généralement pas la cause de la carence ni la quantité d'engrais nécessaire pour la corriger. Elle est la plus utile lorsqu'elle est combinée à l'inspection visuelle de la culture et des caractéristiques du sol, à la connaissance des pratiques de gestion mises en place antérieurement et à une analyse du sol récente qui fournit les teneurs en éléments nutritifs et le pH du sol.

Il n'existe aucun processus formel d'accréditation des laboratoires d'analyse des tissus végétaux. Cependant, le rendement des laboratoires accrédités en analyse de sol qui exécutent des analyses de tissus est surveillé, et chaque laboratoire accrédité en analyse de sol est en mesure d'effectuer une analyse valable des tissus végétaux.

Échantillonnage

Le moment où l'on effectue le prélèvement des tissus a une grande incidence sur les résultats, car les niveaux d'éléments nutritifs dans la plante varient considérablement avec l'âge de celle-ci. Les résultats seront difficiles à interpréter si les échantillons sont pris à des moments autres que ceux recommandés. Cependant, les plants soupçonnés de carence en éléments nutritifs devraient être échantillonnés dès que le problème se manifeste. Il est préférable de prélever les échantillons aux endroits précis où il y a des signes de carence plutôt que dans le champ tout entier, et il est souvent utile de prélever également des échantillons de plantes saines dans un secteur adjacent, à des fins de comparaison.

Les échantillons de tissus doivent être prélevés sur au moins 20 plants répartis un peu partout dans la zone choisie. Chaque échantillon doit se composer de 100 g (3,5 oz) de tissus frais. Les zones à problème devraient être échantillonnées séparément. Il faut éviter toute contamination des échantillons avec de la terre car même une infime quantité de terre peut fausser les résultats, surtout lorsque l'analyse porte sur les oligo-éléments.

Préparation de l'échantillon

Les échantillons de tissus végétaux fraîchement cueillis doivent être expédiés sans retard au laboratoire. Si l'expédition immédiate des échantillons est impossible, on doit faire sécher les tissus végétaux afin d'en empêcher la détérioration. Faire sécher les échantillons au four à 65 °C (149 °F) ou moins, ou les faire sécher au soleil en prenant soin qu'aucune particule de terre ou de poussière ne puisse les contaminer. Il faut éviter tout contact des tissus avec des contenants galvanisés (plaqués de zinc) ou faits de cuivre ou de laiton.

Recommandations d'engrais

Acidité du sol et chaulage

L'échelle de pH s'étend de 0 à 14; elle sert à définir le degré d'acidité ou d'alcalinité du sol. Un pH de 7,0 indique un sol neutre; un pH inférieur à 7,0 indique l'acidité, alors qu'un pH supérieur à 7,0 signifie que le sol est alcalin. La plupart des grandes cultures poussent bien lorsque le pH se situe entre 6,0 et 8,0.

Changements de culture ou de méthode culturale

Les recommandations basées sur l'analyse du sol du MAAARO sont faites pour une culture précise et en fonction de méthodes culturales précises. Lorsque la gestion des cultures est modifiée (enfouissement de légumineuses, épandage de fumier), il convient d'adapter les recommandations en conséquence. On peut corriger les quantités nécessaires en consultant le tableau 2–15, *Réduction des besoins d'azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, p. 42. Si l'on décide d'utiliser la terre pour une autre culture que celle pour laquelle les recommandations ont été faites, on devra fonder les nouvelles recommandations sur les données du tableau approprié dans la section consacrée à cette culture.

Pour corriger l'acidité du sol, il faut épandre à la volée de la chaux moulue et l'enfouir dans le sol, aux doses suggérées dans les résultats d'analyses du sol. Le tableau 2–10, *pH auquel le chaulage est recommandé pour les grandes cultures en Ontario*, p. 37, indique le pH au dessous duquel le chaulage est recommandé, selon la culture, et jusqu'à quelle valeur le pH sera redressé. En Ontario, la plupart des cultures poussent bien à un pH plus élevé que le pH visé et pour lequel le chaulage est recommandé.

pH tampon

Le pH du sol sert à mesurer le degré d'acidité du sol et indique si le chaulage est nécessaire à la culture. Il ne mesure pas la quantité d'acidité de réserve maintenue dans l'argile et les particules de matière organique contenues dans le sol, et qui dicteront la quantité de chaux nécessaire. Des quantités différentes d'acidité de réserve pourraient indiquer que deux sols présentant le même pH auront besoin de quantités différentes de chaux pour redresser le pH du sol au niveau voulu. L'acidité de réserve se mesure selon le pH tampon. Plus la quantité d'acidité de réserve est élevée, plus le pH

Tableau 2–10.
pH auquel le chaulage est recommandé pour les grandes cultures en Ontario

Cultures	pH au-dessous duquel le chaulage est recommandé	pH cible[1]
Sols minéraux à texture grossière ou moyenne (sables, loams sableux, loams et loams limoneux)		
Légumineuses vivaces, avoine, orge, blé, triticale, haricots, pois, canola, lin, tomates, framboises, fraises, et toute autre culture qui ne figure pas ci-dessous	6,1	6,5
Maïs, soya, seigle, graminées, foin, pâturage, tabac	5,6	6,0
Pommes de terre	5,1	5,5
Sols minéraux à texture fine (argiles et loams argileux)		
Luzerne, choux, rutabaga	6,1	6,5
Autres légumineuses vivaces, avoine, orge, blé, triticale, soya, haricots, pois, canola, lin, tomates, framboises, toute autre culture qui ne figure pas ci-dessus ni ci-dessous	5,6	6,0
Maïs, seigle, foin de graminées, pâturage	5,1	5,5
Sols organiques (tourbes, terres noires)		
Toutes les grandes cultures et tous les légumes	5,1	5,5

[1] Où une culture est en rotation avec d'autres cultures nécessitant un pH plus élevé (par exemple le maïs en rotation avec le blé ou la luzerne), il est recommandé que le sol soit chaulé afin d'atteindre le pH le plus élevé.

tampon est faible et plus il faudra de chaux pour élever le pH. Pour les sols ayant besoin de chaulage (selon le pH du sol), le tableau 2–11, *Quantité de chaux nécessaire pour corriger l'acidité du sol en fonction du pH et du pH tampon du sol*, p. 38, peut servir à déterminer la quantité de chaux nécessaire pour atteindre les différents pH « cibles » nécessaires à diverses cultures.

Qualité de la chaux agricole

La chaux calcitique contient surtout du carbonate de calcium; la chaux dolomitique contient des carbonates de magnésium et de calcium. Cette dernière devrait être utilisée sur les sols dont la teneur en magnésium est de 100 ou moins, car c'est une excellente source économique de magnésium pour les sols acides. Dans les sols dont l'analyse révèle une teneur en magnésium supérieure à 100, les deux types de chaux peuvent être utilisés.

La qualité de la chaux agricole est déterminée par deux facteurs importants : la valeur neutralisante et la finesse de mouture. La valeur neutralisante de la chaux est déterminée par sa capacité à neutraliser l'acidité du sol lorsqu'elle est complètement dissoute. On l'exprime en pourcentage de la valeur neutralisante du carbonate de calcium pur. Un échantillon de chaux qui neutraliserait 90 % de l'acide neutralisé par le carbonate de calcium pur possède une valeur neutralisante de 90. En général, plus la teneur en calcium et en magnésium de la chaux en question est haute, plus sa valeur neutralisante est élevée.

Le deuxième facteur qui influe sur le pouvoir neutralisant d'un calcaire est la finesse de sa mouture. En effet, une pierre calcaire a une surface de contact avec l'acide bien moins grande que si elle est réduite en poudre; pour cette raison, elle neutralise beaucoup moins vite l'acidité — à toutes fins utiles, elle a peu de valeur. Le calcul de l'efficacité du calcaire moulu est illustré au tableau 2–12, *Exemple de calcul de la finesse de mouture de la chaux*, p. 38.

Indice agricole de la chaux

L'indice agricole est un indice qui a été mis au point en Ontario pour permettre la comparaison de chaux différentes. Il relie les notions de valeur neutralisante et de finesse dans la formule suivante :

$$\text{Indice agricole} = \frac{\text{valeur neutralisante} \times \text{finesse}}{100}$$

L'indice agricole peut être utilisé pour comparer l'efficacité relative de différentes chaux agricoles à neutraliser l'acidité du sol. La chaux possédant un indice agricole élevé vaut proportionnellement plus que la chaux possédant un indice plus faible, car elle peut être appliquée à des doses inférieures.

Par exemple, si deux chaux agricoles, A et B, ont des indices agricoles de 50 et 80 respectivement, la dose de A requise pour certains sols sera de 80/50 x la dose de B. Donc, la valeur de la chaux A est de 50/80 x le prix de la chaux B par tonne.

Tableau 2–11.
Quantité de chaux nécessaire pour corriger l'acidité du sol en fonction du pH et du pH tampon du sol[1]
Chaux moulue nécessaire (tonne/ha)
(en fonction d'un indice agricole de 75)

pH tampon	pH cible			
	7,0	6,5[2]	6,0[3]	5,5[4]
7,0	2	2	1	1
6,9	3	2	1	1
6,8	3	2	1	1
6,7	4	2	2	1
6,6	5	3	2	1
6,5	6	3	2	1
6,4	7	4	3	2
6,3	8	5	3	2
6,2	10	6	4	2
6,1	11	7	5	2
6,0	13	9	6	3
5,9	14	10	7	4
5,8	16	12	8	4
5,7	18	13	9	5
5,6	20	15	11	6
5,5	20	17	12	8
5,4	20	19	14	9
5,3	20	20	15	10
5,2	20	20	17	11
5,1	20	20	19	13
5,0	20	20	20	15
4,9	20	20	20	16
4,8	20	20	20	18
4,7	20	20	20	20
4,6	20	20	20	20

[1] En Ontario, le pH tampon est mesuré au moyen du tampon Shoemaker, MacLean et Pratt (SMP). D'autres réglementations peuvent utiliser des tampons différents, qui donnent des résultats similaires mais non identiques.
[2] Chaulage si pH au dessous de 6,1.
[3] Chaulage si pH au dessous de 5,6.
[4] Chaulage si pH au dessous de 5,1.

Les recommandations reconnues par le MAAARO sont basées sur une chaux ayant un indice agricole de 75. Donc, si l'indice agricole de la chaux est connu, la dose précise pour une chaux de cette qualité peut être calculée. La formule suivante peut être utilisée :

$$\text{Dose de chaux recommandée d'après l'analyse de sol} \times \frac{75}{\text{indice agricole}} = \text{taux d'application}$$

Par exemple, si la dose recommandée, d'après l'analyse du sol, est de 9 t/ha et que la chaux offrant le meilleur compromis entre la qualité et le prix possède un indice agricole de 90, il faudra appliquer 75/90 X 9 = 7,5 t/ha.

Tableau 2–12.
Exemple de calcul de la finesse de mouture de la chaux

Taille des particules	% de l'échantillon	x	Facteur d'efficacité	=	Cote de finesse
plus grosse qu'un tamis n° 10[1]	10	x	0	=	0
tamis n° 10 à n° 60[2]	40	x	0,4	=	16
plus petite qu'un tamis n° 60	50	x	1,0	=	50
Finesse pour l'ensemble de l'échantillon				=	66

[1] Un tamis Tyler n° 10 a des mailles de 2,0 mm.
[2] Un tamis Tyler n° 60 a des mailles de 0,25 mm.

L'indice agricole ne renseigne aucunement sur la teneur en magnésium de la chaux. La chaux dolomitique doit être utilisée sur les sols pauvres en magnésium.

Profondeur du labour

Les recommandations sur le chaulage faites dans la présente publication devraient élever le pH dans les 15 premiers cm (6 po) de sol au pH cible précisé. Selon que le sol est labouré à une profondeur inférieure ou supérieure à 15 cm, il faut proportionnellement plus ou moins de chaux pour atteindre le même pH cible. Là où l'on réduit la profondeur de travail du sol, il faut réduire la dose en conséquence. Un chaulage plus fréquent peut être nécessaire.

Diminuer le pH du sol

Lorsque le pH est inférieur à 6,5, il est possible d'abaisser le pH (rendre le sol plus acide) en lui ajoutant du soufre ou du sulfate d'ammonium. Cet apport peut être opportun pour certaines cultures, notamment pour lutter contre la galle de la pomme de terre mais, en général, il ne convient pas aux cultures de rotation. On ne peut faire alterner le pH du sol, de faible à moyen, d'une année à l'autre. Si le pH du sol est supérieur à 6,5, cette méthode est tout simplement déconseillée. D'ailleurs, il est presque irréalisable d'abaisser autant le pH en raison des grandes quantités de soufre ou de sulfate d'aluminium nécessaires.

Azote

Les recommandations d'engrais azoté pour les grandes cultures sont basées sur les besoins estimatifs des cultures. Les taux recommandés pour une culture donnée figurent sous la rubrique *Fertilisation* du

chapitre consacré à cette culture. Les doses sont diminuées dans le cas où l'on épand du fumier ou si la culture précédente comprenait des légumineuses vivaces comme la luzerne.

Afin de conserver à la culture toute sa qualité et d'éviter toute pollution des eaux souterraines, il faut s'assurer que l'apport total d'azote biodisponible provenant notamment d'engrais, de fumier, de biosolides et de déchets n'excède jamais les besoins de la culture.

Phosphore et potasse

Les recommandations de phosphore et de potasse sont basées sur les résultats des analyses de sol reconnues par le MAAARO. Les besoins précis des cultures en ces deux éléments fertilisants sont présentés sous la rubrique *Fertilisation* de chaque culture. Ces tableaux devraient être utilisés seulement avec les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO. Dans les laboratoires non accrédités, on peut utiliser pour les analyses de sol des solvants d'extraction qui retirent des quantités différentes d'éléments nutritifs, de telle sorte que leurs résultats ne peuvent être interprétés convenablement avec les tableaux du MAAARO.

Lorsqu'il est impossible d'obtenir une analyse du sol, on pourra se faire une idée générale des besoins à l'aide des tableaux en se conformant aux directives suivantes :

1. Si le champ a été fertilisé régulièrement depuis de nombreuses années ou s'il a été fortement fertilisé au cours des dernières années, il faut utiliser un des taux de phosphate et de potasse recommandés pour la teneur cotée MOYENNE.
2. Si le champ a reçu peu d'engrais dans le passé, il faut utiliser un des taux recommandés pour la teneur cotée BASSE.

Les sols dont la teneur en phosphore s'avère excessive (E) contiennent beaucoup plus de phosphore biodisponible qu'il est nécessaire pour la plupart des cultures. Il faut éviter sur de tels sols tout apport de phophore, que ce soit sous forme d'engrais, de compost, de fumier, de biosolides d'épuration ou de déchets, car le rendement n'en serait pas meilleur et la biodisponibilité des autres éléments nutritifs serait menacée.

La teneur en phosphore déterminée par les analyses de sol évalue l'effet qu'aura un apport de phosphore sur une culture. La surfertilisation en phosphore pourrait causer la pollution de l'eau. Cependant, comme le phosphore se lie très bien avec les particules de sol, le déplacement de ces dernières hors du champ par érosion constitue aussi un risque important de contamination des eaux de surface. C'est pourquoi la contamination des eaux de surface par le phosphore ne peut être évaluée uniquement d'après le niveau de phosphore fourni par l'analyse de sol. Si les résultats des analyses de sol donnent une teneur très élevée ou excessive, l'application de toute source de phosphore doit être effectuée en se conformant à l'indice de phosphore (se référer à l'annexe C, *Indice de phosphore*, p. 304). Un indice de phosphore peut indiquer le risque relatif de contamination des eaux de surface selon les applications dans une zone particulière. Il définit également les doses maximales d'application, si du fumier a été épandu et il définit une distance de sécurité minimale par rapport aux cours d'eau.

Certains sols argileux ou loams argileux sont naturellement riches en potassium et ne nécessitent donc aucun engrais potassique. Il est impossible de déterminer exactement les besoins d'une culture en potassium sans une analyse du sol.

Magnésium

Le magnésium est un élément fertilisant qu'on trouve habituellement en abondance dans beaucoup de sols en Ontario. Les sols dont la teneur en magnésium est inférieure à 20, selon les résultats d'analyses du MAAARO, ont besoin d'une application de magnésium pour supporter la plupart des cultures. Les sols dont la teneur en magnésium est inférieure à 20 sont très rares en Ontario. Lorsqu'il y a lieu d'amender le sol et que le pH est inférieur à 6,0, l'application de chaux dolomitique constitue le moyen le plus efficace et le plus économique de corriger une carence en magnésium. On utilise la chaux dolomitique pour rajuster le pH du sol si le résultat de l'analyse démontre une teneur en magnésium inférieure à 100. Dans les sols plus riches en magnésium, on peut utiliser soit de la chaux dolomitique, soit de la chaux calcitique pour corriger le pH. Dans les sols où le pH est supérieur à 6,0 et où la concentration de magnésium est de 20 ou moins, l'apport de magnésium peut provenir de sulfate de magnésium ou de sulfate de magnésie potassique (mélange de sulfate de potassium et de sulfate de magnésium). Appliquer 30 kg de magnésium élémentaire soluble/ha (27 lb/ac). Soulignons que, en général, ces dernières solutions sont assez coûteuses comparativement à l'épandage de chaux dolomitique comme source de magnésium.

Puisque le potassium et le magnésium se font concurrence directe au niveau de l'absorption par les plantes, l'application de potasse peut entraîner une carence en magnésium ou aggraver une carence

existante. Voilà pourquoi il faut vérifier la teneur du sol en potassium et faire preuve de vigilance lorsqu'on fournit un fertilisant potassique à des sols pauvres en magnésium.

Les cultures faites sur un certain nombre de sols de l'Ontario ont une concentration en magnésium tellement basse que la santé du bétail nourri de ces cultures en souffre, même si la croissance des plantes ne semble nullement affectée. Dans de tels cas, il en coûte beaucoup moins cher de corriger la carence dans la ration pour bétail que par la fertilisation du sol. Quoi qu'il en soit, on doit porter une attention particulière à la teneur du sol en potassium et ne pas ajouter au sol plus de potassium que la quantité recommandée par l'analyse de sol.

Calcium

Les carences en calcium n'ont pas causé d'ennuis dans les sols de l'Ontario dont le pH convient aux grandes cultures. Un pH convenable est un indicateur fiable d'une teneur en calcium suffisante dans le sol.

Soufre

Le soufre fourni par la décomposition de la matière organique et provenant des pluies acides est généralement en quantité suffisante pour répondre aux besoins des cultures. Des carences en soufre ont déjà été signalées dans quelques champs du nord-ouest de l'Ontario, surtout dans des sols sableux à faible teneur en matière organique. Pour combler un apport en soufre, on aura recours à du sulfate de potassium ou du sulfate d'ammonium. On peut aussi utiliser du soufre élémentaire, mais il doit être oxydé sous la forme de sulfate pour que les végétaux puissent l'absorber. Il faut donc que l'application soit effectuée de 12 à 18 mois avant les semis d'une culture qui a besoin de soufre.

Oligo-éléments

Il est déconseillé d'associer les oligo-éléments aux bouillies insecticides ou fongicides à moins d'indication du fabricant à cet effet.

L'épandage des oligo-éléments devrait se faire seulement lorsque l'expérience en démontre la nécessité ou sur les conseils d'une personne compétente. L'application peut se faire au sol ou en pulvérisation foliaire. L'épandage au sol est généralement associé aux travaux de préparation du sol tandis que les pulvérisations foliaires se font durant la saison de croissance. Les bouillies d'oligo-éléments devraient contenir un produit mouillant-adhésif.

Tableau 2–13.
Interprétation des résultats sur le manganèse

Teneur du sol en manganèse[1]	Mesures suggérées
supérieure à 30	La biodisponibilité du manganèse est adéquate pour les grandes cultures.
16 à 30	La biodisponibilité du manganèse est adéquate pour de nombreuses cultures mais s'approche des niveaux de carence pour l'avoine, l'orge, le blé et le soya. Si des symptômes de carence apparaissent, faire une pulvérisation de manganèse. Confirmer la situation au moyen d'une analyse des tissus végétaux.
inférieure à 16	La biodisponibilité du manganèse est sans doute insuffisante pour l'avoine, l'orge, le blé et le soya. Faire une pulvérisation de manganèse au stade 4 feuilles puis répéter l'opération 3 semaines plus tard si nécessaire. Aucune carence en manganèse n'a été diagnostiquée dans le maïs en Ontario même dans les sols qui présentent de graves carences pour le blé.

[1] Ces valeurs donnent un indice de la biodisponibilité du manganèse; elles sont fondées sur la quantité de manganèse extractible et sur le pH du sol.

Manganèse

Prévenir et corriger les carences en manganèse

La carence en manganèse présente comme symptôme principal une chlorose internervale des feuilles, qui commence sur les jeunes feuilles. Plus tard, toute la plante peut être touchée. Dans les céréales, la carence en manganèse se manifeste sous l'aspect d'un jaunissement général et d'un rabougrissement, parfois avec des taches grises sur les feuilles. Le soya, le haricot comestible et les céréales sont les cultures les plus sensibles à la carence en manganèse.

Le manganèse est moins disponible dans les sols à pH élevé. Il est donc important de ne pas ajouter plus de chaux que nécessaire pour corriger le degré d'acidité du sol. Pour plus de renseignements sur les produits et les doses à utiliser, se référer aux rubriques *Oligo-éléments*, p. 129, et p. 224. L'interprétation des analyses de sol pour le manganèse est présentée au tableau 2–13, *Interprétation des résultats sur le manganèse*, ci-dessus.

Zinc

Prévenir et corriger les carences en zinc

En Ontario, le maïs est la culture qui manifeste le plus les carences en zinc. On a signalé des carences en zinc

Tableau 2–14.
Interprétation des résultats sur le zinc

Teneur du sol en zinc[1]	Mesures suggérées
supérieure à 200	Il y a lieu de soupçonner une contamination de l'échantillon ou du champ.
25 à 200	La biodisponibilité du zinc est adéquate pour la plupart des grandes cultures.
15 à 25	La biodisponibilité du zinc est adéquate pour la plupart des grandes cultures. Cependant, elle est à peine suffisante pour le maïs. Si le champ n'est pas uniforme en ce qui concerne sa texture, son pH ou sa vulnérabilité à l'érosion, il peut s'avérer avantageux d'en traiter certaines parties avec du zinc. Des symptômes de carence au stade 4 à 6 feuilles signifient une carence certaine en zinc (se référer à la rubrique *Zinc*, p. 80).
inférieure à 15	Le sol ne renferme pas suffisamment de zinc pour le maïs et devrait en être enrichi au moyen d'un engrais.

[1] Ces valeurs donnent un indice de la biodisponibilité du zinc; elles sont fondées sur la quantité de zinc extractible et sur le pH du sol.

dans les cultures de haricots dans d'autres régions, mais elles semblent être rares en Ontario. Une haute teneur en phosphore dans le sol et/ou dans l'engrais ou les deux peut causer une carence en zinc ou l'aggraver. **Appliquer seulement la dose recommandée de phosphore.** L'utilisation de fumier animal peut prévenir ou amoindrir les carences en zinc. La maîtrise de l'érosion peut éviter que la carence en zinc ne se produise en maintenant en place la couche arable du sol.

On évitera les carences en zinc en appliquant un engrais contenant du zinc, au taux de 4 kg/ha (3,6 lb/ac). Les doses jusqu'à 14 kg/ha (12,5 lb/ac) peuvent être épandues à la volée, ce qui permet de corriger une carence pour trois ans, mais les doses supérieures à 4 kg/ha (3,6 lb/ac) ne devraient pas être appliquées en bandes. Les pulvérisations foliaires permettent parfois de corriger une carence après que les symptômes soient apparus pour autant qu'elles soient effectuées au début de la saison de croissance. Pour les produits et les doses nécessaires, se référer à la rubrique *Oligo-éléments et éléments nutritifs secondaires*, p. 80, dans le chapitre sur le maïs. L'interprétation des résultats sur le zinc se trouve au tableau 2–14, *Interprétation des résultats sur le zinc*, ci-dessus.

Cuivre

Les analyses de sol ne sont pas révélatrices de la teneur en cuivre des terres de l'Ontario, mais l'analyse des tissus végétaux donne cette information. Le cuivre est rarement déficient dans les sols minéraux excepté peut-être lorsque la terre est très sableuse. Il peut toutefois manquer dans les sols organiques, et l'analyse de tissus est le meilleur moyen de déceler cette carence. Lorsque des sols organiques sont mis en culture pour la première fois, il est préférable d'amender la terre au taux de 14 kg/ha (12,5 lb/ac) chaque année, les trois premières années.

Bore

L'ajout de bore est nécessaire dans certains sols ensemencés de luzerne, surtout sur les terres sableuses ou graveleuses dont la capacité de rétention d'eau est faible. Les carences sont plus répandues au centre de l'Ontario que dans le reste de la province. Les carences en bore se produisent habituellement au cours des périodes sans pluie et la réponse au traitement est imprévisible. Voilà pourquoi aucune analyse de sol sûre n'a pu être élaborée jusqu'à maintenant. Par contre, l'analyse des tissus végétaux permet de prédire les besoins en bore, comme d'ailleurs le permettent les symptômes observés sur les plantes. Pour connaître les doses nécessaires dans le traitement des carences, se référer à la rubrique *Oligo-éléments*, p. 176.

Comme le bore est nécessaire en quantités infimes seulement et que les excès sont toxiques, il faut l'utiliser avec beaucoup de précaution. Aucune carence en bore n'a été constatée dans les céréales, les pois et les haricots en Ontario, et le bore appliqué sur ces cultures ou à d'autres cultures l'année précédente risque d'être toxique. **Le bore ne devrait pas être appliqué en bandes.**

Aucune carence en fer ni en molybdène n'a été signalée dans les grandes cultures en Ontario.

Réduction des quantités d'engrais recommandées

Les recommandations générales quant aux quantités d'engrais présentées dans ce manuel s'appliquent dans les cas où aucune source organique d'éléments nutritifs n'a été appliquée au champ. Dans les cas où du fumier ou des biosolides ont été appliqués, ou si des légumineuses sont enfouies, il convient de réduire la fertilisation afin de compenser l'apport d'éléments nutritifs sous forme organique.

RÉDUCTION DES QUANTITÉS D'ENGRAIS RECOMMANDÉES

Tableau 2–15.
Réduction des besoins d'azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses

Type de culture	Pour toutes les cultures, réduire le besoin en N de	
	kg/ha	lb/ac
Moins du 1/3 en légumineuses	0	0
1/3 à 1/2 en légumineuses	55	49
1/2 ou plus en légumineuses	100	89
Légumineuses vivaces semées et enfouies la même année	45[1]	40[1]
Résidus de soya et de haricots de grande culture	0[2]	0[2]

[1] S'applique là où le peuplement est dense et les plantes atteignent plus de 40 cm (16 po) de hauteur.

[2] Pour toutes les cultures autres que le maïs. Pour réduire les besoins en engrais du maïs, se référer au tableau 3–19, *Doses d'azote généralement recommandées pour une monoculture de maïs*, p. 78.

Fertilisation réduite après l'enfouissement de légumineuses

Lorsqu'ils sont enfouis par le labour, les résidus de légumineuses (luzerne, lotier, trèfle) constituent une source appréciable d'azote pour la culture suivante. Le tableau 2–15, *Réduction des besoins d'azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, ci-dessus, indique les réductions nécessaires dans les quantités d'azote recommandées pour les cultures qui suivent un gazon renfermant des légumineuses.

Fertilisation réduite après l'épandage de fumier

Les nombreuses fermes d'élevage de l'Ontario génèrent plus de 33 millions de tonnes de fumier. Pour tirer parti des avantages économiques du fumier sans le faire au détriment de l'environnement, le producteur doit bien gérer les éléments nutritifs provenant de ce fertilisant.

Valeur du fumier

On sous-estime souvent la valeur du fumier pour les cultures. Le fumier renferme tous les éléments nutritifs nécessaires aux végétaux, mais pas nécessairement dans les proportions qu'il faut, compte tenu des conditions des sols et des cultures. Le fumier contient de l'azote, du phosphore et du potassium, mais aussi de nombreux éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments, ainsi que de la matière organique qui contribue à donner au sol sa structure et à la maintenir.

Exemple

Un producteur épand 45 000 L de lisier de porcs à l'engrais (4 000 gal/acre) au printemps, et il enfouit ce fumier dans le sol dans les 24 heures qui suivent l'épandage.

Engrais	Quantité équivalente		Prix/kg[1]		Coût/ha
Azote	153 kg/ha	x	0,88	=	134,64 $
P_2O_5	66 kg/ha	x	0,77	=	50,82 $
K_2O	96 kg/ha	x	0,38	=	36,48 $
Valeur totale à l'hectare				=	221,94 $

[1] Prix basé sur les prix suggérés des engrais

La quantité équivalente d'engrais commercial peut être calculée à partir du tableau 2–16, *Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques*, p. 43, et le tableau 2–17, *Proportion d'azote biodisponible (en rapport avec l'azote total)*, p. 44. Compte tenu des prix suggérés des engrais commerciaux figurant dans ce tableau, la valeur approximative du fumier est de 222 $/ha (90 $/ac), si l'on présume que tous les éléments nutritifs sont nécessaires pour la culture.

Programme de gestion des éléments nutritifs

Le programme de gestion des éléments nutritifs tient compte d'une part, des besoins de la culture, et d'autre part, des éléments nutritifs présents dans le sol ainsi que de ceux qui proviennent du fumier, des plantes couvre-sol et de l'engrais commercial (voir tableau 2–16, *Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques*, p. 43). On détermine donc les doses de fumier et d'engrais commercial à partir de l'analyse de la teneur du fumier en éléments nutritifs, des résultats des analyses de sol et des exigences de la culture.

Le programme de gestion des éléments nutritifs peut exiger des doses de fumier ou d'engrais moindres si l'application comporte certains risques, comme ci-dessous :

Critère	Risque
Azote	Lessivage des nitrates dans les eaux souterraines
Phosphore	Déplacement des phosphates vers les eaux de surface
Volume de liquide	Ruissellement direct, comportant de l'ammoniac, des phosphates et des bactéries

Tableau 2–16.
Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques

Sources d'éléments nutritifs organiques	% de matière sèche	Azote total	Azote ammoniacal	P_2O_5 assimilable	K_2O assimilable	Valeur[1] N–P_2O_5–K_2O	
		Lisier : kg/1 000 L (lb/1 000 gal)				$/1 000 L	$/1 000 gal
Bovins de boucherie[2]	6	2,8 (28)	1,5 (15)	0,7 (7,4)	1,9 (19,4)	2,85	12,90
Bovins laitiers : stockage à l'extérieur[3]	6	3 (30)	1,6 (16)	0,68 (6,4)	2,5 (24,8)	3,15	13,20
Bovins laitiers : stockage sous l'étable[3]	8	4,1 (41)	2,1 (21)	0,8 (8,2)	3,2 (31,6)	4,05	16,75
Bovins laitiers – génisses	11	5,0 (55)	2,5 (25)	1,2 (12,3)	3,5 (35)	4,95	24,95
Pondeuses	10	7,4 (74)	5,2 (52)	2,4 (23,9)	3,2 (32,4)	8,30	37,30
Porcs – truies et portées	3	3,5 (35)	2,4 (24)	0,9 (9,2)	1,6 (16,2)	3,65	16,45
Porcs – finition	5	4,9 (49)	3,0 (30)	1,5 (14,7)	2,2 (21,6)	5,05	22,35
Porcs – finition : aliments secs/humides	6,5	5,8 (58)	3,5 (35)	1,8 (18,4)	2,6 (25,9)	5,90	28,75
Ruissellement	1,0	1,0 (10)	0,6 (6)	0,2 (1,8)	1,3 (13)	1,25	5,55
Biosolides liquides : anaérobies	4,4	2,8 (28)	0,9 (9)	1,3 (12,9)	0,0 (0)	2,05	9,65
		Fumier complet : kg/t (lb/t imp.)				$/t	$/t imp.
Bovins de boucherie	28	7,2 (14,4)	0,8 (1,6)	2,1 (4,2)	6,1 (12,3)	5,80	4,95
Bovins laitiers	20	5,7 (11,4)	1,3 (2,7)	1,5 (3,0)	4,8 (9,7)	4,93	4,15
Pondeuses	20	11,5 (23)	6,3 (12,8)	4,7 (9,4)	4,6 (9,3)	12,40	11,20
Poulets de gril	> 50	30 (60)	3,8 (7,6)	12,4 (24,8)	15,9 (31,8)	26,10	22,65
Moutons	30	10,6 (21,2)	4,5 (9)	5,4 (10,9)	7,5 (15,1)	12,15	10,45
Chevaux	50	3,2 (6,4)	0,4 (0,8)	2,4 (4,8)	6,6 (13,2)	5,25	4,35

Source : Logiciel NMAN 2001 du MAARO

[1] Valeur approximative basée sur l'application de fumier au printemps, avec enfouissement immédiat, et sur une valeur de N–P_2O_5–K_2O/lb de 0,40–0,35–0,17 $.

[2] Y compris certains ruissellements.

[3] Y compris les eaux de laiterie.

Évaluation des éléments nutritifs biodisponibles pour la culture à partir de valeurs moyennes

La meilleure façon de déterminer la concentration de chaque élément nutritif dans le fumier est de faire analyser un échantillon. Malheureusement, il n'est pas toujours possible de le faire, comme dans le cas d'une nouvelle exploitation. Les valeurs moyennes fournissent alors une évaluation des éléments nutritifs biodisponibles pour la culture, lorsque l'azote biodisponible est rajusté en fonction du moment de l'application.

Le tableau 2–16, *Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques*, ci-dessus, fournit les résultats moyens des analyses de fumier de cinq laboratoires accrédités de l'Ontario durant les six dernières années. Les valeurs en phosphate et en potasse sont rapportées comme éléments nutritifs assimilables pour remplacer les éléments nutritifs des engrais. L'azote est rapporté comme azote total et azote ammoniacal. Dans le fumier, l'azote ammoniacal correspond chimiquement à la même forme d'azote que celle qu'on retrouve dans de nombreux engrais minéraux et elle est immédiatement assimilable par la culture. Malheureusement, la forme ammoniacale est également volatile et donc soumise à des pertes si elle n'est pas immédiatement enfouie. Le reste de l'azote du fumier est sous forme organique, qui devient graduellement assimilable par la culture à mesure que les composés organiques se décomposent et libèrent de l'ammonium. L'azote du fumier est assimilable par la culture selon la proportion d'azote organique et d'azote ammoniacal, le moment de l'application et le moment de l'enfouissement.

Tableau 2–17.
Proportion d'azote biodisponible[1] (en rapport avec l'azote total[2])

	Enfoui (< 24 heures)					Non enfoui				
								Présemis		
	Fin de l'été	Début d'automne	Fin d'automne	Présemis	En bandes latérales	Début d'automne	Fin d'automne	Sol dénudé	Résidus	En bandes latérales
Urée (N commercial)	0,1	0,2	0,5	1,0	1,0	0,1	0,4	0,85	0,75	0,85
Fumier complet – bovins/moutons	0,3	0,3	0,3	0,4	–	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2
Fumier complet – volaille	0,3	0,4	0,5	0,6	–	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Lisier – bovins	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6
Lisier – porcs	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5
Biosolides liquides	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6

Source : Beauchamp et collab., Université de Guelph, 2000.

[1] N biodisponible = N total du fumier épandu x proportion assimilable (culture de printemps).

[2] Tient compte de la perte d'ammoniac évaporé dans l'atmosphère et de la minéralisation de l'azote organique. Pour le fumier enfoui dans les trois jours, utiliser la formule (valeur enfouie + valeur non enfouie)/2.

Facteurs influençant la biodisponibilité pour les cultures de l'azote provenant du fumier

Le fumier de divers systèmes agricoles comporte des proportions variables d'azote organique et d'azote ammoniacal. Le lisier contient une proportion plus élevée d'azote sous forme ammoniacale que le fumier complet. Dès l'épandage du fumier au champ, l'azote ammoniacal commence à se volatiliser dans l'air. Le processus se poursuit jusqu'à ce que le fumier passe dans le sol, soit par enfouissement ou à cause de la pluie, ou jusqu'à ce que l'ammonium du fumier devienne si appauvri qu'il est stable. Les fumiers qui sont enfouis rapidement fournissent beaucoup plus d'azote à la culture.

L'azote organique n'est assimilable par la culture qu'après avoir été minéralisé sous forme ammoniacale par action microbienne. Le processus se produit le plus rapidement par temps chaud et en présence d'humidité, et cesse lorsque les températures du sol se rapprochent du point de congélation. L'azote de fumier complet épandu juste avant les semis pourrait ne pas être assimilable à temps pour répondre aux besoins de la culture.

L'azote ammoniacal est en outre converti en nitrates par l'action microbienne du sol. Contrairement à l'ammonium, qui se lie aux particules du sol, l'ion nitrate peut se déplacer librement avec l'eau du sol.

La perte de l'azote des nitrates par lessivage ou dénitrification du sol se produit si le fumier est épandu en été ou en début d'automne. La quantité perdue dépend de la quantité de nitrates produite, qui à son tour dépend du moment de production des nitrates à partir de l'azote organique et de l'azote ammoniacal. Les épandages de fumier à la fin de l'été peuvent produire de plus grandes pertes de nitrates que l'épandage de fumier effectué juste avant le gel ou au printemps.

Le tableau 2–17, *Proportion d'azote biodisponible (en rapport avec l'azote total)*, ci-dessus, démontre la proportion d'azote biodisponible de sources différentes selon le moment de l'épandage. Pour évaluer la quantité d'azote assimilable par la culture, il faut multiplier la quantité d'azote présente dans le fumier épandu au champ par le facteur de biodisponibilité selon le type de fumier et le moment de l'épandage.

Ce tableau tient compte de la volatilisation de l'azote ammoniacal dans l'air, de la minéralisation de l'azote organique et de la perte des nitrates par dénitrification du sol ou lessivage. Une grande partie de l'azote ammoniacal s'évapore dans l'air si on laisse le fumier à la surface du sol, aussi la proportion d'azote assimilable par la culture est plus grande si le fumier est enfoui. On a tenté d'évaluer les proportions d'azote sous forme organique et ammoniacale (se référer au tableau 2–18, *Niveaux approximatifs d'azote ammoniacal par type de fumier*, p. 45) et la biodisponibilité de l'azote organique. L'urée est incluse à

titre d'exemple de la façon dont la biodisponibilité de l'azote compris dans l'engrais se compare à celle du fumier.

Les valeurs présentées au tableau 2–16, p. 43, et au tableau 2–17, p. 44, de même que les doses de fumier, peuvent servir à évaluer la quantité d'azote biodisponible pour la culture qui est fournie par les épandages de fumier effectués à des moments différents. Par exemple, si du fumier complet de poulet de gril est épandu au taux de 9 t/ha (4 t/ac) au printemps sur des résidus de céréales, sans enfouissement, l'azote assimilable par la culture, apporté par ce fumier, serait de 73,5 kg/ha (65,5 lb/ac). Ce calcul est effectué en multipliant la teneur en azote total du fumier (22,5 kg/t ou 54,6 lb/t imp.) par le taux d'application (9 t/ha ou 4 t imp./ac), ce qui donne un épandage total d'azote de 244,6 kg/ha (218,4 lb/ac). Le facteur de biodisponibilité pour un épandage de présemis au printemps est de 0,3, ce qui, multiplié par l'épandage d'azote total, donne un résultat d'azote biodisponible de 73,4 kg/ha (65,5 lb/ac) (244,6 x 0,3 = 73,4 kg/ha ou 218,4 x 0,3 = 65,5 lb/ac).

Analyse du fumier

Il faut faire analyser le fumier étant donné que sa teneur en éléments nutritifs varie d'une ferme à l'autre, particulièrement au niveau des concentrations de phosphore et de potasse. Le type d'élevage, la ration, la litière, les liquides qui s'ajoutent au fumier et le mode de stockage du fumier sont autant de facteurs qui influencent en bout de ligne les concentrations d'éléments nutritifs. On pourra mieux réduire les quantités d'engrais en se basant sur une analyse du fumier, beaucoup plus exacte que les valeurs moyennes.

Les niveaux d'azote et de phosphore du fumier qui se révèlent au-dessus de la moyenne peuvent indiquer qu'une protéine ou du phosphore sont donnés aux animaux à des niveaux plus élevés que ceux nécessaires. Des acides aminés pour contrebalancer l'azote, réduire la quantité de phosphore dans les suppléments minéraux ou l'ajout de phytase (une enzyme qui augmente l'efficacité du phosphore chez l'animal) sont quelques méthodes pouvant permettre de réduire les teneurs de ces éléments nutritifs dans le fumier.

Plusieurs laboratoires en Ontario offrent des services d'analyse du fumier. L'analyse est faite après qu'on a bien agité ou mélangé le fumier, chaque fois que la cellule de stockage est vidée (p. ex., au printemps et à l'automne). Après plusieurs analyses, il se dégagera une tendance dans les résultats et l'échantillonnage pourra n'être fait par la suite que lors de changements majeurs au niveau de la ration ou d'autres facteurs de gestion.

Tableau 2–18.
Niveaux approximatifs d'azote ammoniacal par type de fumier

Type de fumier	N ammoniacal
Lisier liquide — porcs	66 %
Lisier liquide — bovins laitiers	50 %
Lisier liquide — bovins de boucherie	55 %
Lisier liquide — volaille	70 %
Biosolides	27 %
Fumier complet — porcs	30 %
Fumier complet — bovins laitiers	25 %
Fumier complet — bovins de boucherie	12 %
Fumier complet — volaille	30 %

Source : Logiciel NMAN 2001 du MAAARO.

Pour envoyer un échantillon au laboratoire, on remplit la moitié d'un contenant en plastique (d'une capacité approximative de 1 litre), on le ferme, on l'insère dans un sac de plastique et on le garde dans un endroit frais jusqu'au moment de l'expédier. L'analyse doit porter sur l'azote total, l'azote ammoniacal (NH_4-N), le phosphore, le potassium et la matière sèche. Les résultats d'analyse transmis par les laboratoires de l'Ontario indiquent les pourcentages d'azote, de phosphore, de potassium et de matière sèche ainsi que la quantité d'azote ammoniacal en mg/kg (ou ppm). La plupart des rapports convertissent les pourcentages de phosphore et de potassium provenant du fumier en équivalents de phosphate et de potasse. Les rapports indiquent également dans quelle mesure il faut réduire les apports d'engrais commercial. La relation entre la potasse et le phosphore biodisponibles et totaux est la même pour tous les moments d'épandage. À la lecture du rapport, il faut noter avec soin s'il s'agit de teneurs en élément nutritif total ou en élément biodisponible.

Pour plus de renseignements sur l'interprétation de l'analyse du fumier, voir l'annexe D, *Calcul des éléments nutritifs assimilables à partir de l'analyse du fumier*, p. 306.

Prévision et gestion des pertes d'éléments nutritifs du fumier

Le fumier renferme deux composants azotés. Le premier, l'azote ammoniacal, constitue la principale source d'azote dans le lisier liquide, les pourcentages approximatifs étant indiqués dans le tableau 2–18, *Niveaux approximatifs d'azote ammoniacal par type de fumier*, ci-dessus. Le second, l'azote organique, devient

RÉDUCTION DES QUANTITÉS D'ENGRAIS RECOMMANDÉES

Tableau 2–19.
Pourcentage estimatif des pertes d'azote ammoniacal attribuables aux conditions atmosphériques et aux conditions de sol

Jours après l'application	Moyenne	Frais (< 10 °C)		Doux (> 25 °C)	
		humide	sec	humide	sec
Enfouissement la même journée	25	10	15	25	50
Enfouissement dans les 2 jours	30	13	19	31	57
Enfouissement dans les 3 jours	35	15	22	38	65
Enfouissement dans les 4 jours	40	17	26	44	73
Enfouissement dans les 5 jours	45	20	30	50	80
Non enfoui	66	40	50	75	100
Injecté (couvert)	0	0	0	0	0
Printemps/été/début automne					
Sol dénudé	66	40	50	75	90
Résidu de culture	50	30	35	60	70
Culture sur pied	35	20	25	40	50
Épandage en fin d'automne	25	25	25	s. o.	s. o.

Adaptation d'un tableau de Beauchamp, Université de Guelph, 1995

assimilable par les plantes au fur et à mesure que la matière organique se décompose, un peu à la manière d'un engrais azoté à libération lente. On suppose qu'entre 20 et 30 % de la fraction d'azote organique du fumier sont assimilables par une culture en croissance l'année de l'épandage. Le pourcentage est généralement plus élevé dans le fumier de volaille et plus faible dans le fumier de bovins.

L'azote ammoniacal est immédiatement assimilable par la culture en croissance. Il s'agit cependant du type d'azote qui se volatilise le plus rapidement, à moins qu'il ne soit enfoui peu après son application. L'humidité du sol et les conditions météorologiques déterminent la rapidité et l'ampleur des pertes d'azote. On constate les pertes les plus élevées les jours chauds et ensoleillés quand les sols sont secs, et les pertes plus faibles lorsque le temps est couvert et froid, que les sols sont détrempés, ou durant les périodes de pluie. Le tableau 2–19, *Pourcentage estimatif des pertes d'azote ammoniacal attribuables aux conditions atmosphériques et aux conditions de sol*, ci-dessus, donne une idée des pertes attribuables aux conditions atmosphériques et aux conditions de sol uniquement pour la composante azote ammoniacal du fumier. Lorsque le fumier est épandu à la fin de l'automne, les pertes semblent faibles puisque les températures fraîches diminuent l'action microbienne du sol, ce qui minimise la conversion. Les pertes peuvent être plus élevées à cause du ruissellement des applications de fin d'automne, surtout s'il n'y a pas enfouissement. La rubrique *Évaluation du risque lié à l'azote*, p. 49, traite des pertes d'azote par lessivage et dénitrification du sol.

Tableau 2–20.
Pourcentage estimatif des pertes d'azote organique biodisponible l'année de l'application

Lisier liquide		Fumier complet		
Volaille	Autres	Volaille	< 50% matière sèche	> 50% matière sèche
0,3	0,2	0,3	0,1	0,05

Le tableau 2–20, *Pourcentage estimatif des pertes d'azote organique biodisponible l'année de l'application*, ci-dessus, donne les pourcentages approximatifs d'azote disponible pour la portion d'azote organique provenant du fumier par type d'élevage.

Valeur à long terme du fumier

L'analyse du sol est le meilleur moyen d'évaluer la biodisponibilité à long terme du phosphore (P), du potassium (K), du magnésium, du zinc ou du manganèse provenant d'épandages antérieurs de fumier. À la longue, l'épandage de grandes quantités de fumier peut amener de fortes concentrations dans le sol de P et de K assimilables. Le fumier enrichit aussi le sol d'autres éléments nutritifs et de matière organique qui peuvent avoir une certaine valeur à long terme.

La plus grande partie de l'azote biodisponible qu'on retrouve dans le fumier est utilisée par les plantes ou se perd durant la première saison de croissance qui suit l'épandage. L'azote organique restant devient assimilable en petites quantités, qui diminuent graduellement au cours des années qui suivent. En général, la quantité d'azote résiduel provenant d'une application est trop faible pour avoir une influence réelle sur les recommandations d'azote visant une culture. Cependant, lorsque du fumier complet est régulièrement appliqué sur un champ, la concentration d'azote résiduel assimilable par une culture peut atteindre un niveau important. Pour les cultures de maïs ou d'orge, l'analyse de la teneur du sol en N peut servir à évaluer l'azote assimilable au cours des années qui suivent l'application. L'analyse

Tableau 2–21.
Prélèvements moyens d'éléments nutritifs (N, P, K) par certaines grandes cultures

Culture	Rendement de base	Quantité de base prélevée (kg/ha)		
		N	P_2O_5	K_2O
Fourrage de légumineuse	11 t/ha (MS)	353	73	336
Fourrage de graminée	9 t/ha (MS)	196	56	196
Fourrage mixte	11 t/ha (MS)	314	73	336
Canola	3 t/ha	106	62	30
Ensilage de maïs	40 t/ha	231	103	215
Maïs	9 t/ha	134	68	47
Blé	5 t/ha	101	49	30
Blé + paille	5 t/ha	165	59	138
Orge	4 t/ha	83	33	26
Orge + paille	4 t/ha	112	41	103
Avoine	3 t/ha	61	21	17
Soya	3 t/ha	217	47	78

Source : Potash and phosphate Institute, 1997.

de la teneur du sol en P et en K peut servir à mesurer les concentrations de phosphore et de potassium résiduels provenant des épandages de fumier.

Besoins des cultures

Les résultats des analyses de sol et les objectifs de rendement déterminent les engrais nécessaires et/ou les doses maximales à utiliser du point de vue économique. Il arrive souvent que les résultats des analyses de sol des exploitations d'élevage démontrent que le niveau de fertilité du sol est suffisant ou élevé et qu'aucun apport supplémentaire n'est requis. Si l'on veut tenir compte des épandages de fumier, il est possible de calculer les éléments nutritifs prélevés par une culture puis de comparer ces données avec la teneur en phosphore ou en azote du fumier afin d'établir un taux d'épandage qui évitera de donner des concentrations trop élevées. Le tableau 2–21, *Prélèvements moyens d'éléments nutritifs (N, P, K) par certaines grandes cultures*, ci-dessus, permet de calculer l'utilisation moyenne des éléments nutritifs selon diverses cultures.

$$\text{Quantité prélevée par la culture} = (\text{Valeur de base}) \times \left(\frac{\text{Rendement prévu}}{\text{Rendement de base}}\right)$$

Si les épandages de fumier visent à combler tous les besoins en azote d'une culture de maïs, on se retrouve habituellement avec des concentrations de P et de K supérieures à ce que peut assimiler la culture, si bien que l'analyse de sol révélera une augmentation des concentrations de ces éléments nutritifs. Dans le cas du lisier liquide, on considère comme un compromis raisonnable d'épandre suffisamment de lisier pour répondre aux deux tiers ou aux trois quarts des besoins en azote de la culture de maïs. Dans le cas du fumier complet, étant donné la forte teneur en carbone de la litière, la libération d'azote est beaucoup moins prévisible. Compte tenu de la difficulté à épandre uniformément aussi bien le fumier complet que le lisier liquide, il est encore recommandé de recourir à un engrais de démarrage, sauf lorsque les résultats de l'analyse de sol révèlent qu'aucun apport d'éléments nutritifs n'est nécessaire.

Il faut tenir compte de l'azote résiduel provenant des cultures de légumineuses au moment d'analyser la pertinence d'un apport supplémentaire d'azote provenant de fumier ou d'engrais (voir le tableau 2–15, *Réduction des besoins d'azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, p. 42). Les épandages de fumier sur des cultures de céréales, de soya ou de canola doivent se faire avec prudence, étant donné qu'un taux d'application trop élevé augmente l'incidence de la verse. Pour les épandages d'été sur des récoltes sur pied comme le maïs ou les fourrages, les taux doivent être maintenus sous les 45 000 L/ha (4 000 gal/acre) ou 55 kg/ha (55–60 lb/acre). Les épandages sur des fourrages doivent se faire aussitôt que possible après la récolte pour éviter tout risque de brûlure des nouvelles feuilles par l'azote. Les peuplements de fourrages plus avancés qui renferment davantage de graminées sont ceux qui profitent le plus des épandages d'azote provenant du fumier. On doit éviter d'épandre sur des récoltes sur pied des fumiers concentrés à forte teneur en azote ammoniacal (par exemple, du fumier provenant d'entrepôts couverts, ou du fumier provenant de porcheries pourvues de distributeurs d'aliments secs et humides).

De nombreux producteurs sont aux prises avec le problème du compactage du sol et doivent composer, entre autres, avec les difficultés de drainage et le manque d'aération du sol qui en découlent. Le meilleur moyen d'atténuer ou d'éviter le compactage du sol est d'épandre le fumier lorsque le sol est sec. Il faut aussi prendre soin de maintenir la charge des camions en deçà d'environ 4,5 tonnes métriques (5 tonnes imp.)/essieu. Voilà des points qui méritent d'être pris en considération dans le choix du matériel d'épandage et dans le calendrier d'épandage (c.-à-d. l'épandage l'été, le printemps ou l'automne). Les

Tableau 2–22.
Calibrage des épandeurs de fumier

Fumier complet Calibrage[1]		Lisier liquide Calibrage[2]		
kg de fumier	Taux d'application	Profondeur du lisier dans le seau		Taux d'application
(par feuille)	(t/ha[3])	po	mm	(L/ha)
0,5	3,6	1/10	2,5	25 000
0,9	7,2	1/8	3,2	32 000
1,4	10,8	1/4	6,4	64 000
1,8	14,3	3/8	9,5	95 000
2,3	17,9	1/2	12,7	127 000
3,2	25,1	5/8	15,9	159 000
4,5	35,8	3/4	19,1	191 000
6,8	53,8	1	25,4	254 000

[1] À l'aide d'une feuille de plastique de 122 cm x 102 cm (p. ex. sac de moulée)
[2] À l'aide d'un seau à parois verticales.
[3] Tonnes imp. par acre = tonnes (métriques)/ha x 0,45.

épandages de printemps sont souvent effectués sur des champs qui sont trop mouillés; il n'est pas rare qu'on puisse localiser les travées empruntées par le matériel simplement à partir des bandes de cultures rabougries dans le champ.

Calibrage des épandeurs

Le calibrage du matériel d'épandage du fumier est essentiel. On peut utiliser différentes méthodes pour mesurer les taux d'application. L'une d'elles consiste à peser la charge de fumier et à mesurer la superficie qu'un chargement peut couvrir. On peut peser le fumier complet en étalant des feuilles de plastique sur le sol. Dans le cas du lisier, des seaux à parois verticales peuvent servir à mesurer la profondeur des applications. Il faut aussi tenir compte des surfaces traitées qui se chevauchent, surtout quand on utilise des systèmes d'irrigation. Le tableau 2–22, *Calibrage des épandeurs de fumier*, ci-dessus, donne un aperçu des taux d'application, tandis que le tableau 2–23, *Densité de différents types de fumier*, ci-contre, fait la distinction entre les différents genres de fumier au plan de leur densité. On peut se procurer la fiche technique n° 97-004 du MAAARO, *Le réglage du matériel d'épandage de fumier liquide*, à titre de référence.

Tableau 2–23.
Densité de différents types de fumier

Type de fumier	Poids par m³	Poids par pi³	Poids par L	Poids par boisseau
Lisier liquide	1 000 kg	62 lb	1,0 kg	80 lb
Lisier pâteux	960 kg	60 lb	0,9 kg	76 lb
Complet – épais	800 kg	50 lb	0,8 kg	64 lb
Complet – léger	560 kg	35 lb	0,6 kg	45 lb

Préoccupations environnementales liées au fumier

Quand le fumier épandu ne dépasse pas les besoins d'une culture, on réduit au minimum les pertes d'éléments nutritifs qui se retrouvent dans l'environnement. Il n'en reste pas moins qu'il faut, même en pareil cas, veiller à ce que le fumier ne contamine pas les cours d'eau sous l'effet de l'érosion, du ruissellement et de l'écoulement de l'eau dans les drains agricoles.

La pente du champ et le type de sol peuvent favoriser le ruissellement des fumiers lorsque les doses sont trop élevées. Sur certains types de sol, il peut être nécessaire de faire plusieurs épandages à dose réduite. Le tableau 2–24, *Effets de la pente et de la texture du sol sur la dose*, p. 49, aidera à établir la dose maximale en fonction du ruissellement possible. Celle-ci doit être calculée en fonction du potentiel de ruissellement.

Le potentiel de ruissellement peut aussi servir à déterminer la distance minimale de sécurité à respecter par rapport aux ruisseaux et autres cours d'eau.

On déconseille de faire des épandages de fumier l'hiver et au début du printemps en raison des risques de ruissellement et de contamination des eaux de surface. Le sort de la première eau de fonte suivant l'application de fumier est déterminant à cet égard. Aucun programme de gestion des éléments nutritifs ne devrait prévoir d'épandage à ces deux périodes de l'année. S'il faut absolument, une année, faire des épandages durant l'hiver, il importe de limiter les épandages aux champs qui, par leur situation, ne posent aucun risque de contamination des eaux de surface par le ruissellement.

La pluie peut provoquer le lessivage de l'azote organique vers les cours d'eau, si le fumier a été épandu sur des terres non protégées. Le phosphore, attaché aux particules de sol, peut être entraîné jusqu'aux cours d'eau sous l'effet de l'érosion du sol. Les pratiques de conservation du sol peuvent réduire

Tableau 2–24.
Effets de la pente et de la texture du sol sur la dose

Potentiel de ruissellement				
	Pente maximale du champ			
Texture du sol	< 0,5 %	0,5–2 %	2–5 %	> 5 %
Sable	très bas	très bas	très bas	bas
Loam	très bas	bas	bas	moyen
Loam argileux	bas	moyen	moyen	élevé
Argile	moyen	élevé	élevé	élevé

Dose maximale
Tenir compte du potentiel de ruissellement pour établir la dose maximale.

Potentiel de ruissellement	Épandage en surface (L/ha)	Incorporé ou enfoui au préalable (L/ha)
Élevé	50 500	76 400
Moyen	76 400	102 200
Faible	102 200	126 900
Très faible	126 900	152 800

Source : *Les pratiques de gestion optimales — Gestion des éléments nutritifs,* commande n° BMP05F, MAAARO et Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1998.

les risques de pollution des cours d'eau par les éléments nutritifs.

L'épandage du fumier ne devrait pas se faire à proximité des cours d'eau. Le potentiel de ruissellement est fonction de la pente du champ et de la texture du sol. Le tableau 2–25, *Calcul de la distance de sécurité minimale par rapport aux cours d'eau,* ci-contre, permet de prévoir le potentiel de ruissellement afin de fixer la distance de sécurité minimale. Dans un système de culture en semis direct qui prévoit une bande tampon de 3 mètres (10 pi) le long des cours d'eau, on peut réduire la distance de sécurité à 9 mètres (30 pi) pour le lisier liquide et à 4,5 mètres (15 pi) pour le fumier complet.

L'eau qui circule dans les réseaux de drainage souterrain peut devenir contaminée si le fumier pénètre dans un puisard ou s'infiltre jusqu'aux drains agricoles. Dans le cas du lisier liquide, maintenir une zone tampon de 9 m (30 pi) autour d'un puisard ou d'une entrée de surface (ou 4,5 m ou 15 pi dans le cas du fumier complet).

Il faut être prudent lors de l'épandage de lisier liquide dans les champs munis de drains agricoles. Si les drains fuient, le lisier liquide risque de migrer au travers des macropores et de contaminer les eaux de surface. Si les drains agricoles ont déjà causé une contamination par les particules qui migrent au

Tableau 2–25.
Calcul de la distance de sécurité minimale par rapport aux cours d'eau

Potentiel de ruissellement	Application en surface (m)		Incorporé ou enfoui au préalable (m)	
	Lisier	Complet	Lisier	Complet
Élevé	30	15	18	9
Moyen	23	11	14	7
Faible	15	8	9	5
Très faible	9	5	9	5

Source : *Les pratiques de gestion optimales–Gestion des éléments nutritifs,* commande n° BMP05F, MAAARO et Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1998.

travers des fissures du sol ou macropores, il est fortement recommandé de travailler le sol avant l'épandage.

Les applications d'éléments nutritifs provenant de fumier ou d'engrais qui dépassent les exigences d'une culture risquent d'entraîner la contamination des eaux souterraines, surtout là où le substratum rocheux est recouvert d'une mince couche de sol, là où la nappe phréatique se trouve près de la surface ou dans les sols très sableux où le lessivage est préoccupant. La contamination des eaux souterraines peut se produire par infiltration des nitrates par les fissures et les trous ou par le lessivage à travers la porosité du sol. La contamination est également possible par infiltration directe du fumier dans l'eau de certains puits qui seraient mal protégés. Il faut éviter l'épandage de fumier en deçà de 15 m (50 pi) de puits forés, ou 30 m (100 pi) de puits ordinaires.

Les gros élevages situés sur des terres de faible superficie sont particulièrement préoccupants. Pour éviter d'épandre trop d'éléments nutritifs, surtout sur les champs situés à proximité des bâtiments d'élevage, un programme de gestion des éléments nutritifs s'impose. Il peut être nécessaire de signer des ententes avec des fermes voisines pour s'assurer de disposer de suffisamment de champs pour les épandages du fumier.

Évaluation du risque lié à l'azote

Le cycle de l'azote, avec les nombreuses formes qu'il prend, est un processus complexe influencé par de nombreux facteurs, entre autres les conditions atmosphériques, les processus biologiques, chimiques et physiques et les caractéristiques du sol. En utilisant la quantité optimale d'azote, il faut garder à l'esprit que toute quantité d'azote non utilisée peut éventuellement s'infiltrer sous la zone

des racines, se volatiliser dans l'atmosphère ou se dénitrifier (éventuellement en oxyde nitreux — un gaz à effet de serre).

Plusieurs communautés sont de plus en plus préoccupées par l'infiltration d'azote dans les eaux de surface. Des études sont menées dans plusieurs régions en Ontario sur la vulnérabilité des ressources aquifères et des eaux souterraines, et les résultats indiquent que l'agriculture y joue un rôle qui peut être important. On a mis au point un indice d'azote en vue de minimiser le risque du lessivage d'azote sous la zone des racines, surtout dans les sols à texture grossière et là où le substratum rocheux est recouvert d'une mince couche de sol. Parmi les méthodes permettant de réduire la perte éventuelle d'azote, il faut noter les pratiques de gestion qui comprennent les cultures couvre-sol avec épandage de fumier en fin d'été et en début d'automne, l'application d'azote à des doses se rapprochant le plus des besoins en azote de la culture et/ou des applications réduites d'azote total.

Les nitrates qui posent le plus grand risque de lessivage vers la zone des racines comprennent le surplus d'azote non prélevé par la culture et l'azote provenant du fumier ou des biosolides épandus en été ou à l'automne. En Ontario, la plus grande partie de l'infiltration des eaux souterraines se produit de la fin de l'automne au début du printemps, lorsque les précipitations dépassent l'évaporation. Sur des sols sableux bien drainés, la plus grande partie des nitrates présents à l'automne peut être lessivée dans les eaux souterraines s'il se produit du drainage. Dans les sols plus lourds, la perte se produit plutôt par dénitrification. En minimisant la quantité de nitrates présente dans le sol à l'automne, on réduit les deux types de pertes.

Parmi les pratiques de gestion visant à réduire le risque de perte de nitrates, il faut noter :

- les cultures couvre-sol où du fumier est appliqué en fin d'été ou en début d'automne;
- les applications d'azote aux moments où la culture en a besoin;
- la réduction des applications d'azote total.

Pour plus de renseignements sur l'évaluation des risques liés à l'azote, se référer au site Web du MAAARO à l'adresse www.gov.on.ca/OMAFRA/french.

Évaluation des risques liés au phosphore

Le risque de contamination des eaux de surface par le phosphore est plus grand si les teneurs en phosphore sont plus élevées selon l'analyse de sol. Toutefois, comme le phosphore se lie étroitement aux particules du sol, le déplacement du sol par érosion constitue également un facteur déterminant du risque de contamination des eaux de surface. C'est pourquoi on ne peut uniquement se baser sur la teneur en phosphore déterminée par l'analyse de sol pour évaluer le risque de contamination des eaux de surface.

Si les résultats de l'analyse de sol indiquent que pour atteindre un rendement économique maximal, aucune quantité de phosphore supplémentaire n'est nécessaire, mais que l'épandage de fumier sera quand même effectué (excès), le risque de contamination des eaux de surface par le phosphore augmente. La présence de phosphore dans les sources d'eau de surface favorise l'eutrophisation, ou croissance de plantes aquatiques, ce qui provoque la chute de la teneur en oxygène et nuit à la capacité de cette source d'eau de soutenir la vie aquatique. Pour protéger l'environnement contre les risques que constitue l'apport supplémentaire de phosphore lorsque les teneurs du sol en phosphore révélées par l'analyse de sol sont adéquates, on a élaboré un indice de phosphore.

Pour plus de renseignements sur l'évaluation du risque lié au phosphore, voir l'annexe C, *Indice de phosphore*, p. 304.

Biosolides et déchets utilisés sur les terres agricoles

Les biosolides sont une source de matière organique traitée, riche en éléments nutritifs, qui proviennent des usines municipales de traitement des eaux usées. Ils contiennent généralement de l'azote organique et minéral, du phosphore, du potassium, de la matière organique et des oligo-éléments comme le zinc, le magnésium et le cuivre. L'utilisation des biosolides dans le cadre du programme de gestion des éléments nutritifs agricoles permet de réduire le besoin d'engrais commerciaux et améliore la fertilité du sol ainsi que ses caractéristiques, sa capacité de rétention de l'eau et sa perméabilité. Les biosolides conviennent particulièrement bien aux cultures comme le maïs, le soya, les céréales et les cultures fourragères.

Parmi les déchets utilisés, il faut noter les rejets des moulins à papier, les sous-produits du traitement des grains et de nombreux autres déchets organiques, de même que certaines matières non organiques comme les rejets de chaux de l'industrie de transformation du sucre. Chaque type de déchet présente des caractéristiques particulières pouvant améliorer la qualité du sol et/ou le rendement de la culture. Les producteurs devraient cependant être conscients de certaines limites. Ainsi, un déchet de moulin à papier, avec une teneur en azote faible et une haute teneur en

Tableau 2–26.
Engrais — Éléments nutritifs primaires

Engrais azotés	Présentation	Azote (% de N)	Indice de sel[1]
Nitrate d'ammonium	sèche	30 à 34	15,3
Nitrate d'ammonium et de calcium	sèche	27	15,3
Urée	sèche	45 à 46	8,1
Sulfate d'ammonium	sèche	21	16,3
Nitrate d'ammonium et d'urée	liquide	28	11,3
Ammoniac anhydre	liquide[2]	82	2,9
Engrais phosphatés		**Phosphate (% de P_2O_5)**	
Superphosphate simple		20	2,0
Superphosphate triple		44 à 46	1,1
Phosphate monoammonique		48 à 52	2,0
Phosphate diammonique (18-46-0)		46	2,3
Polyphosphate d'ammonium (10-34-0)		34	2,3
Engrais potassiques		**Potasse (% de K_2O)**	
Chlorure de potassium		60 à 62	9,7
Sulfate de potassium		50	4,3
Sulfate de magnésie potassique (11 % de Mg)		22	9,9
Nitrate de potassium (13–0–44)		44	6,1

[1] Exprimé par unité (100 lb) d'éléments nutritifs.
[2] Liquide sous pression

Tableau 2–27.
Engrais — Éléments secondaires et oligo-éléments

Magnésium (Mg)	
Chaux dolomitique	6–13 % Mg
Sels d'Epson (sulfate de magnésie)	10,5 % Mg
Sulfate de magnésie potassique	11,0 % Mg
Bore (B)	
Borate de sodium	12–21 % B
Solubor	20,5 % B
Cuivre (Cu)	
Sulfate de cuivre	13–25 % Cu
Cuivre chélaté	5–13 % Cu
Manganèse (Mn)	
Sulfate de manganèse	26–28 % Mn
Molybdène (Mo)	
Molybdate de sodium	39 % Mo
Zinc (Zn)	
Sulfate de zinc	36 % Zn
Zinc chélaté	7–14 % Zn
Oxysulphate de zinc	18–36 % Zn

carbone, peut se lier temporairement à l'azote du sol lors de l'épandage. Il peut en résulter une carence d'azote dans la culture. Les producteurs devraient avoir accès à de l'information sur la teneur en éléments nutritifs et leur biodisponibilité, de même que sur les répercussions négatives potentielles du recours aux biosolides et aux déchets.

L'utilisation sur les terres agricoles de déchets et de biosolides est soumise au chapitre V de la *Loi sur la protection de l'environnement*. L'utilisation de biosolides et d'autres déchets sur des terres agricoles est réglementée en Ontario par le ministère de l'Environnement. Les *Directives concernant l'utilisation de biosolides et d'autres déchets sur les terres agricoles, mars 1996*, établissent les directives liées à la qualité des biosolides et des autres déchets, aux critères touchant le lieu d'épandage, et à l'épandage de ces matières sur les terres agricoles. Un certificat d'autorisation est exigé avant l'épandage sur des terres agricoles de toute matière provenant de déchets. Bien utilisés, les biosolides et certains déchets constituent un ajout valable à tout plan de gestion des éléments nutritifs à des fins agricoles.

Engrais

Les engrais azotés sont disponibles sous forme solide ou liquide. Bien qu'il y ait des limites dans l'emploi de ces deux types (voir la rubrique *Toxicité des engrais chimiques*, p. 53), les différentes sources d'azote fournissent le plus souvent des rendements comparables. Le producteur doit donc faire son choix en fonction de la disponibilité des produits sur le marché, du matériel dont il dispose, du coût de l'azote au kilogramme et des coûts d'application.

Le producteur doit d'abord calculer le coût du kilogramme d'azote livré à la ferme. Le coût à l'hectare peut être calculé à partir du taux d'épandage. Il faut ajouter à cela les coûts d'application avant de décider de la forme d'engrais à acheter.

Quand il est recommandé de faire des amendements séparés d'azote, on doit compter les kilogrammes d'azote élémentaire (N) et non les kilogrammes d'engrais. Le tableau 2–26, *Engrais — Éléments nutritifs primaires*, ci-contre, et le tableau 2–27, *Engrais — Éléments secondaires et oligo-éléments*, ci-dessus,

Tableau 2–28.
Caractéristiques des engrais liquides les plus répandus

Composition	Poids/ gallon US (lb)	Poids/gallon impérial (lb)	Poids/ litre (lb)	Gallons impériaux/ tonne	Gallons US/ tonne	Litre/ tonne
8–25–3	11,11	13,35	2,94	165,1	198,4	749,9
6–18–6	10,69	12,85	2,83	171,6	206,2	779,0
3–11–11	10,45	12,55	2,76	175,7	211,0	798,8
9–9–9	10,49	12,60	2,77	175,0	210,2	795,9
7–7–7	10,41	12,5	2,75	176,4	211,8	801,7
6–24–6	11,07	13,30	2,93	165,8	199,2	752,4
9–18–9	11,07	13,30	2,92	165,8	199,2	755
5–10–15	10,7	12,85	2,83	171,6	206,0	799
2–10–15	10,62	12,75	2,81	172,9	207,6	784,6
10–34–0	11,5–11,74	14,0–14,1	3,08–3,1	157,5–156,4	189,2–187,8	715,8–711,2
28 %	10,65	12,8	2,82	172,2	207,0	781,8
Hydroxyde d'ammonium	7,49	9	1,98	245	294,3	1 113,4
acide phosphorique 54 %	13,15	15,8	3,48	139,5	167,7	633,5

1 gallon impérial = 1,201 gallon US = 4,546 litres 1 gallon US = 0,8326 gallon impérial = 3,785 litres

donnent les pourcentages d'éléments nutritifs contenus dans divers engrais.

Outre les produits mentionnés dans le tableau 2–27, différents fabricants d'engrais chimiques offrent des prémélanges qui contiennent un ou plusieurs oligo-éléments.

Une large gamme d'engrais liquides sont utilisés en Ontario. Ils reviennent généralement plus cher par unité d'élément nutritif que les engrais secs en granules, mais les engrais liquides sont plus faciles à manipuler, peuvent être mesurés facilement et épandus avec plus de précision. Les caractéristiques des engrais liquides les plus fréquemment utilisés sont données au tableau 2–28, *Caractéristiques des engrais liquides les plus répandus*, ci-dessus.

Sels solubles dans les terres agricoles

De fortes concentrations de sels solubles dans le sol peuvent empêcher ou retarder la germination et même tuer les plants déjà établis ou, du moins, en ralentir sérieusement la croissance.

À l'état naturel, les sols de l'Ontario renferment peu de sels solubles. Par conséquent, ceux-ci causent rarement un problème aux cultures et ne sont pas couramment mesurés dans les analyses de sol.

La présence de sels solubles dans le sol est habituellement causée par des doses excessives d'engrais et de fumier, le ruissellement du sel épandu sur les routes et le déversement de produits chimiques sur les terres agricoles. De fortes concentrations de sels solubles dans les bandes de fertilisation, ou près d'elles, peuvent causer de sérieux problèmes à court terme, affectant les premiers stades de croissance sans toutefois influer sérieusement sur les concentrations de sel dans le reste du sol. Une quantité donnée de sel dans le sol entraîne une élévation de la concentration de sel dans l'eau du sol si la teneur en eau est basse. Les sels solubles interfèrent aussi avec l'absorption d'eau par les plantes. Voilà pourquoi la croissance des plantes est plus affectée par la présence de sels solubles lorsque l'apport d'eau est minime (durant les périodes de sécheresse).

Il est facile de déterminer en laboratoire la teneur en sels solubles en mesurant la conductivité électrique d'un mélange pâteux d'eau et de terre. Plus la concentration de sels solubles dans l'eau est élevée, plus la conductivité est forte. Le tableau 2–29, *Interprétation des résultats de conductivité du sol*, p. 53, établit le lien entre la conductivité électrique des sols et leur utilité culturale. Il est à souligner que la conductivité électrique est un autre résultat offert par le programme d'analyse de sol accrédité par le MAAARO. L'analyse est faite sur un mélange pâteux constitué de deux parties d'eau et d'une partie de terre.

Tableau 2-29.
Interprétation des résultats de conductivité du sol

Conductivité du sol (millisiemens/cm)	Cote	Mises en garde
0-0,25	F	Convenable pour la plupart des plantes si les quantités recommandées d'engrais sont utilisées.
0,26-0,45	M	Convenable pour la plupart des plantes si les quantités recommandées d'engrais sont utilisées.
0,46-0,70	H	Pourrait réduire la levée et causer des dommages allant de légers à graves aux plantes sensibles au sel.
0,71-1,00	E	Pourrait empêcher la levée et causer des dommages allant de légers à graves à la plupart des plantes.
1,00	E	Causera de graves dommages à la plupart des plantes.

Pour les terreaux de serres, l'analyse de sol du MAAARO porte sur un plus grand échantillon de sol, et on mesure la conductivité par la méthode des extraits boueux. Dans le cas des cultures sous abri où l'on utilise cette méthode, l'indice de conductivité est acceptable même lorsqu'il s'élève à 3,5 millisiemens/cm.

Toxicité des engrais chimiques

Tous les sels contenus dans les engrais chimiques sont toxiques pour les racines et les graines en germination lorsqu'ils se trouvent en concentrations fortes près de celles-ci. La toxicité par unité d'élément fertilisant dépend des facteurs suivants :

- la proportion de sel par unité d'éléments fertilisants;
- les différences de solubilité des sels dans le sol;
- la présence de certains constituants ou éléments qui sont particulièrement toxiques (p. ex., ammoniac ou bore). De nombreux engrais azotés, même s'ils présentent une faible teneur en sel, libèrent de l'ammoniac dans le sol.

Engrais azotés

Le nitrate d'ammonium, le phosphate monoammonique et le sulfate d'ammonium ont une toxicité semblable et sont beaucoup moins dangereux que l'ammoniac anhydre, que l'hydroxyde d'ammonium et que l'urée. Le phosphate diammonique est plus toxique que le phosphate monoammonique, mais moins que l'urée. Aussi faut-il prendre plus de précautions lorsqu'on l'emploie avec des semences particulièrement sensibles, comme les haricots ou les pois ou dans des sols de texture grossière (sable ou loam sableux) que si l'on utilise du nitrate d'ammonium ou du phosphate monoammonique.

L'ammoniac anhydre et l'hydroxyde d'ammonium sont des produits extrêmement toxiques qui ne devraient pas être placés près des semences. Il est préférable de placer ces engrais au présemis, perpendiculairement à la direction du semis. Une réduction de la densité de peuplement peut être à craindre en sols très secs ou si les semis ont lieu trop tôt après l'application.

L'urée est toxique quand elle est appliquée en bandes ou près des semences, mais elle est sans danger si on l'épand à la volée à une dose normale. En général, les engrais dont la teneur en azote égale plus de la moitié de leur teneur en phosphate contiennent souvent de l'urée.

Engrais phosphatés

La plupart des engrais phosphatés courants ne sont guère toxiques pour les graines et les plantes puisqu'une grande partie du phosphate forme un précipité dans le sol, avant même d'entrer en contact avec les racines. La concentration du phosphore en solution dans le sol est toujours très basse, de sorte qu'il n'existe aucune limite quant aux quantités à appliquer près des semences de cultures faites en champ ou avec elles.

Le phosphate diammonique est plus toxique que les autres engrais phosphatés (voir la rubrique *Engrais azotés*, ci-contre).

Engrais potassiques

Le chlorure de potassium (KCl) est la source de potassium la plus courante dans les engrais. Il est moins toxique par unité d'élément fertilisant que la plupart des engrais azotés.

Le sulfate de potassium (K_2SO_4) est moins toxique que le chlorure de potassium.

Le sulfate de magnésie potassique est à peu près aussi toxique par unité de potassium que le chlorure de potassium.

Le nitrate de potassium est l'une des sources de potassium les moins dangereuses.

Tableau 2–30.
Doses maximales sûres des éléments fertilisants

Avoine et orge de printemps (engrais avec la semence)	
Sols sableux et loams sableux	35 kg d'azote ou 55 kg (azote + potasse)/ha. Si le **phosphate diammonique** (18–46–0) est la source d'azote, utiliser 20 kg d'azote ou 35 kg (azote + potasse)/ha. Si l'**urée** est la source d'azote, utiliser 10 kg d'azote ou 30 kg (azote + potasse)/ha[1].
Loams, loams limoneux ou argileux	45 kg d'azote ou 70 kg (azote + potasse)/ha. Si le **phosphate diammonique** (18–46–0) est la source d'azote, utiliser 30 kg d'azote ou 55 kg (azote + potasse)/ha. Si l'**urée** est la source d'azote, utiliser 10 kg d'azote ou 30 kg (azote + potasse)/ha[1].
Blé, triticale et orge d'automne (engrais avec la semence)	
Tous les sols	15 kg d'azote ou 30 kg (azote + potasse)/ha. Ne pas appliquer d'**urée** ni de **phosphate diammonique** (18–46–0) avec la semence des céréales semées à l'automne[1].
Maïs (engrais avec la semence)	
Tous les sols	7 kg (azote + potasse)/ha, pour des rangs espacés de 1 mètre. Ne pas appliquer d'**urée** ou de **phosphate diammonique** avec la semence de maïs. Pour d'autres espacements de rangs, on peut ajuster la dose pour obtenir la même concentration maximale dans le rang (pour des rangs de 50 cm, la dose maximale sûre correspond à 100/50 x 7 = 14 kg (azote + potasse)/ha).
Maïs (engrais placé en bandes à 5 cm à côté et 5 cm au-dessous de la semence)	
Tous les sols	55 kg d'azote ou 90 kg (azote + potasse)/ha. Si l'**urée** est la source d'azote, 40 kg d'azote ou 60 kg (azote + potasse)/ha. Si l'on applique en bandes plus de 55 kg d'azote/ha, la bande doit se trouver à au moins 15 cm de la graine. Pour des espacements de rangs autres que 1 m, on doit ajuster la dose si on veut obtenir la même concentration maximale dans le rang (pour des rangs de 50 cm, la dose maximale sûre correspond à 100/50 x 55 = 110 kg d'azote/ha).
Maïs (engrais épandu à la volée)	
Sols sableux et loams sableux	Si l'**urée** est la source de N, utiliser 200 kg d'azote ou 250 kg (azote + potasse)/ha.
Canola (engrais avec la semence)	
	On peut appliquer jusqu'à 20 kg d'engrais phosphaté/ha avec la semence s'il s'agit de superphosphate ou de phosphate monoammonique. L'azote (sauf sous forme de phosphate monoammonique) et la potasse ne devraient pas être enfouis avec la semence.
Lin (pas d'engrais avec la semence)	
Tous les sols	Les doses recommandées sont normalement sans danger si elles sont épandues à la volée.
Pois, haricots et soya (pas d'engrais avec la semence)	
Tous les sols	(en bandes, 5 cm à côté et 5 cm au-dessous de la semence pour des rangs espacés de 1 m) 30 kg d'azote/ha ou 90 kg (azote + potasse)/ha. Les doses recommandées sont normalement sans danger lorsqu'elles sont épandues à la volée.

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] En général, les engrais dont la teneur en azote égale plus de la moitié de leur teneur en phosphate (p. ex. 16–16–16) contiennent souvent de l'urée. Les engrais à base d'urée ne doivent pas, dans bien des cas, être appliqués en bandes au moment du semis.

Le tableau 2–30, *Doses maximales sûres des éléments fertilisants*, ci-dessus, décrit les doses maximales sûres d'éléments fertilisants pour diverses cultures. Les doses sûres données dans ce tableau sont valables pour des pratiques uniques. Si des épandages de deux éléments fertilisants et plus sont combinés, l'effet cumulatif peut endommager la culture même si les doses d'épandage sont individuellement en deçà du seuil de dommage.

Engrais contenant des oligo-éléments

Les engrais contenant des oligo-éléments (bore, cuivre, fer, manganèse ou zinc) sont plus toxiques que leurs équivalents dépourvus d'oligo-éléments et, par conséquent, la dose maximale à laquelle on peut les utiliser sans danger est inférieure. Le bore est particulièrement toxique et ne devrait pas être appliqué en bandes.

Directives pour l'application d'éléments fertilisants sans danger pour le semis

La toxicité des engrais varie grandement selon la teneur en eau du sol. Des dommages se produisent plus fréquemment sur des sols à texture légère (sableux ou graveleux) dont la teneur en matière organique est faible, et par temps sec. Pour s'assurer qu'en toutes circonstances les engrais appliqués en bandes ne seront pas nocifs, il faudrait en appliquer de très faibles quantités. Les doses maximales suggérées ici pourraient réduire ou retarder la germination ou la croissance dans jusqu'à 10 % des cas. C'est pourquoi, la plupart du temps, il est recommandé d'utiliser des quantités plus faibles au semis que celles indiquées dans le tableau 2–30, *Doses maximales sûres des éléments fertilisants*, p. 54. Si les besoins en engrais sont élevés, il est parfois préférable d'en épandre la majeure partie à la volée et de n'appliquer qu'une faible portion en bandes au moment du semis. Les engrais sont le plus toxique lorsqu'ils contiennent les oligo-éléments bore, cuivre, fer, manganèse et zinc. Par conséquent, il faut souligner que les doses maximales auxquelles on peut les utiliser sans danger sont inférieures à celles indiquées dans ce tableau.

Certains producteurs emploient des doses beaucoup plus élevées d'engrais en bandes qu'il n'est recommandé ici, sans problème apparent. Les cultures tolèrent des doses d'engrais beaucoup plus élevées pour peu que le taux d'humidité soit adéquat, mais il est impossible de prévoir quelles conditions peuvent survenir à la germination. S'en tenir aux doses maximales sûres est toujours plus prudent.

Engrais foliaires

L'apport en oligo-éléments peut se faire par engrais foliaires, particulièrement lorsque les carences sont attribuables à l'immobilisation des éléments nutritifs dans le sol (p. ex. le manganèse). La quantité d'éléments nutritifs qu'il est possible d'épandre par cette méthode est limitée à cause du danger de brûler les feuilles. Lors de la préparation, il faut veiller à ce que la bouillie ne soit pas trop concentrée. Le producteur doit consulter l'étiquette des pesticides avant d'y associer des éléments nutritifs pour pulvérisation foliaire.

Calcul des besoins en fertilisants

Le calcul des besoins en fertilisants minéraux pour un rendement optimal des cultures s'effectue en soustrayant les éléments nutritifs obtenus du fumier et des légumineuses des besoins totaux en éléments nutritifs. De plus, il est souvent avantageux de séparer la fraction engrais de démarrage comprise dans le fertilisant, qui est généralement riche en phosphore, du reste de l'azote et du potassium.

Tableau 2–31.
Exemple de calcul des besoins d'épandage de fertilisant

	N	P_2O_5	K_2O
	kg/ha		
Besoins	157	50	81
moins légumineuses	45	0	0
moins fumier	34	34	157
moins biosolides d'épuration	0	0	0
Besoins totaux d'engrais minéral	78	17	0
moins engrais de démarrage	12	49	25
moins engrais en bandes latérales	0	0	0
Besoins totaux de fertilisant épandu à la volée	66	0	0

Culture : maïs
Culture précédente : orge avec trèfle rouge
Fumier épandu : fumier complet de bovins laitiers (22,4 t/ha ou 10 t/ac) enfoui au printemps
Autres sources de matière organique : aucune
Engrais de démarrage : 157 kg de 8–32–16/ha (140 lb/ac)
Azote supplémentaire : aucun

Le tableau 2–31, *Exemple de calcul des besoins d'épandage de fertilisant*, ci-dessus, donne un exemple de ce type de calcul. Dans l'exemple, la dose totale d'engrais nécessaire épandu à la volée est de 66 kg de N/ha, ou 143 kg d'urée/ha. L'application de l'engrais de démarrage peut aussi être réduite et répondre encore aux besoins de la culture.

Pour utiliser ce tableau, il faut inscrire sur la première ligne les besoins en azote, en phosphate et en potasse. Déduire ensuite les éléments nutritifs fournis par les légumineuses, le fumier ou d'autres sources organiques pour obtenir la quantité d'engrais minéral qu'il sera nécessaire d'ajouter pour répondre aux besoins totaux.

Le choix de l'engrais de démarrage dépend du type de culture, des besoins en engrais minéral et de la machinerie disponible. Il est souvent aussi efficace d'épandre une partie de l'engrais comme engrais de démarrage, puis d'épandre le reste à la volée que d'épandre tout l'engrais au semoir de précision ou au semoir à grain. Cette façon de faire permet d'économiser temps et énergie, et présente moins de risques de dommages aux plantules.

ENGRAIS

Il faut soustraire les épandages d'engrais de démarrage et d'engrais en bandes latérales des besoins totaux d'engrais minéral. Ce qui reste devrait être épandu à la volée. S'il ne reste que de très petites quantités, on pourrait régler les doses de l'une des autres sources d'éléments nutritifs, ou alors ignorer les quantités restantes ou encore prévoir une application d'engrais qui répondrait aux besoins sur plusieurs années (P et K uniquement).

3. Maïs

Le maïs est cultivé presque partout dans le sud de l'Ontario. Au cours des années 1996 à 2000, la superficie consacrée au maïs-grain s'est établie en moyenne à 717 000 ha (1,77 million d'acres) et a donné un rendement moyen de 7,34 t/ha (117 bo/ac). Le maïs d'ensilage destiné à l'alimentation animale occupe 121 000 ha supplémentaires. Le maïs-grain cultivé dans la province est destiné à la fois à l'alimentation animale (65 %) et à des usages industriels (35 %). La valeur commerciale totale de la culture du maïs en Ontario dépasse les 800 millions de dollars annuellement.

Méthodes de travail du sol

Méthode traditionnelle

La méthode traditionnelle de travail du sol utilisée dans la culture du maïs en Ontario se résume au passage de la charrue à socs à l'automne suivi d'un travail du sol superficiel au printemps, habituellement à l'aide d'un cultivateur ou d'un pulvériseur tandem. La plupart du temps, le labour à l'aide de la charrue à socs vise à travailler le sol sur une profondeur de 15 cm (6 po); si le sol est travaillé plus profondément, le sous-sol risque d'être amené à se mélanger avec la couche arable, ce que l'on cherche à éviter. Plus un champ est uniforme et mieux il est nivelé après le labour d'automne, plus les coûts du travail superficiel du sol ont de chances d'être bas et plus le semoir a de chances de travailler efficacement. La plupart des producteurs sont conscients que la méthode traditionnelle de travail du sol, du fait qu'elle ne laisse pas de résidus de culture à la surface du sol, expose davantage celui-ci aux érosions éolienne et hydrique. Sur les terres en pente, le simple fait de travailler le sol risque d'entraîner de grandes quantités de particules de couche arable vers le bas de la pente.

Travail réduit du sol à l'automne

Le chisel est l'outil le plus largement utilisé en Ontario pour le travail réduit du sol à l'automne. Le pulvériseur tandem et le pulvériseur déporté sont aussi très utilisés dans certaines régions. Des essais menés en Ontario ces 20 dernières années dans le cadre de recherches sur le travail du sol, ont démontré de façon générale que le passage des disques conduit à des conditions de sol plus favorables et à des rendements du maïs plus élevés que le passage du chisel. Le tableau 3–1, *Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain*, ci-dessous, résume les données sur le rendement du maïs recueillies dans le cadre de ces essais.

Tableau 3–1.
Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain
Toutes les parcelles travaillées ont été soumises à un travail superficiel au printemps avant les semis de maïs.
(Essais menés à la suite de différentes cultures de 1979 à 1996.)

					Méthode de travail du sol à l'automne Rendement du maïs		
Endroit	Comté	Sol	Culture précédente	N^bre d'années	Charrue à socs	Chisel	Pulvériseur déporté
Milton	Halton	loam argileux	maïs	3	7,34 t/ha (117 bo/ac)	6,84 t/ha (109 bo/ac)	6,84 t/ha (109 bo/ac)
Elora	Wellington	loam limoneux	maïs	7	7,72 t/ha (123 bo/ac)	7,34 t/ha (117 bo/ac)	7,59 t/ha (121 bo/ac)
Elora	Wellington	loam limoneux	soya	2	7,40 t/ha (118 bo/ac)	7,40 t/ha (118 bo/ac)	7,78 t/ha (124 bo/ac)
Comber	Essex	loam argileux	soya	3	7,78 t/ha (124 bo/ac)	7,34 t/ha (117 bo/ac)	7,78 t/ha (124 bo/ac)
Morpeth	Kent	argile	soya	2	6,77 t/ha (108 bo/ac)	6,15 t/ha (98 bo/ac)	6,90 t/ha (110 bo/ac)
Moyenne				n = 17	7,407 t/ha (118 bo/ac)	7,017 t/ha (112 bo/ac)	7,407 t/ha (118 bo/ac)

Source : T. Vyn, K. Janovicek, D. Hooker et D. Young, Université de Guelph.

Tableau 3–2.

Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain

Les parcelles travaillées à la charrue à socs et au chisel ont été soumises à un travail superficiel au printemps; les parcelles travaillées uniquement au pulvériseur tandem à l'automne ont été directement ensemencées au printemps, sans travail superficiel du sol.

					Méthode de travail du sol à l'automne : Rendement du maïs		
Endroit	Comté	Sol	Culture précédente	N^bre d'années	Charrue à socs	Chisel	Uniquement le pulvériseur tandem à l'automne
Alvinston	Lambton	argile	soya	3	5,96 t/ha (95 bo/ac)	5,39 t/ha (86 bo/ac)	5,71 t/ha (91 bo/ac)
Fingal	Elgin	loam argileux limoneux	soya	3	9,97 t/ha (159 bo/ac)	9,66 t/ha (154 bo/ac)	9,66 t/ha (154 bo/ac)
Centralia	Huron	loam limoneux	paille de blé mise en balles	3	9,16 t/ha (146 bo/ac)	8,72 t/ha (139 bo/ac)	8,84 t/ha (141 bo/ac)
Wyoming	Lambton	loam argileux limoneux	paille de blé mise en balles	3	9,97 t/ha (159 bo/ac)	9,72 t/ha (155 bo/ac)	9,85 t/ha (157 bo/ac)
Moyenne				n = 12	8,78 t/ha (140 bo/ac)	8,41 t/ha (134 bo/ac)	8,53 t/ha (136 bo/ac)

Source : T. Vyn, K. Janovicek, D. Hooker et G. Opuku, Université de Guelph.

Le travail du sol à l'aide d'un chisel pourvu de dents vrillées donne parfois un sol mal nivelé, ce qui peut engendrer des coûts supplémentaires au moment des passages subséquents, donner des lits de semence inégaux et provoquer à l'occasion un assèchement excessif du sol. L'utilisation de socs à ailes ouvertes ou socs bineurs sur la totalité ou une partie de la charrue chisel surmonte quelques-uns de ces problèmes tout comme l'ajout d'une barre niveleuse ou de herses à l'arrière du chisel. Un travail superficiel du sol effectué au moment opportun au printemps est également avantageux.

Lorsque le passage des disques est fait de manière à laisser la surface du sol bien nivelée à l'automne, il devient possible au printemps de réaliser les semis par un seul passage du semoir à maïs (sans travail superficiel du sol) et de réaliser du coup des économies au chapitre du travail du sol. Le tableau 3–2, *Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain*, ci-dessus, présente les résultats des recherches qui ont été menées en Ontario sur cette façon de procéder. Sur les parcelles où l'on a comparé le labour au chisel à l'automne et le travail superficiel du sol, c'est le passage uniquement du pulvériseur tandem qui a permis d'obtenir les plus hauts rendements et d'abaisser considérablement les coûts d'exploitation. En moyenne, l'écart entre le rendement obtenu avec le passage uniquement du pulvériseur tandem et le rendement obtenu avec une méthode traditionnelle de travail du sol s'établit à moins de 5 boisseaux.

Travail réduit du sol au printemps

Le meilleur moyen de réduire l'érosion et les coûts des intrants consiste à s'abstenir de travailler le sol à l'automne. Il est concevable que les producteurs aux prises avec des sols lourds où la couche de résidus est abondante après une culture comme celle du maïs ou du blé, par exemple, soient réticents à ne pas travailler le sol du tout à l'automne. Par contre, à la suite du soya, dans la plupart des champs en Ontario, il est difficilement justifiable de travailler le sol à l'automne. Le tableau 3–3, *Effets des méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain à la suite du soya*, p. 59, montre que même dans un sol à texture fine, lorsque le maïs suit le soya dans la rotation, il est généralement suffisant de travailler le sol uniquement au printemps (à l'aide de deux passages du cultivateur). D'autres essais de démonstration effectués sur des sols à textures moyenne et grossière ont abouti à la même conclusion.

> Lorsque **le maïs suit le soya**, le surplus de maïs obtenu grâce au travail du sol à l'automne compense rarement les coûts associés aux travaux d'automne.

L'expérience que les producteurs ont du travail réduit du sol au printemps indique que le fait de travailler des sols non dérangés au printemps donne de meilleurs résultats si l'on utilise des dents à haut dégagement, des dents étroites et/ou lorsqu'on utilise des socs d'enterrage ou qu'on passe un rouleau en même temps que le cultivateur.

Tableau 3–3.
Effets des méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain à la suite du soya
Moyennes de 1994–1996 obtenues à Fingal et Alvinston (Ontario).

	Fingal (loam argileux limoneux)	Alvinston (sol argileux)
	Rendement du maïs-grain de 15,5 %	
Charrue à socs l'automne + travail du sol au printemps	9,97 t/ha (159 bo/ac)	6,02 t/ha (96 bo/ac)
Travail du sol au printemps seulement	9,78 t/ha (156 bo/ac)	6,02 t/ha (96 bo/ac)
Aucun travail du sol	9,65 t/ha (154 bo/ac)	5,65 t/ha (90 bo/ac)

Source : T. Vyn, D. Hooker et C. Swanton, Université de Guelph.

Travail du sol par bandes à l'automne

Le principe d'un travail du sol confiné à des bandes étroites destinées à recevoir les rangs de maïs l'année suivante suscite énormément d'intérêt depuis quelques années. La méthode consiste à préparer des bandes de sol en les ameublissant, en les débarrassant des résidus et idéalement en les élevant quelque peu tout en laissant le reste du champ couvert de résidus de culture et par conséquent protégé. Le printemps suivant, ces bandes, étant plus sèches et moins denses, se prêtent mieux au semis direct. Une recherche menée à l'Université de Guelph de 1994 à 1996 a porté sur le travail du sol par bandes dans du chaume de blé d'automne.

Le tableau 3–4, *Travail du sol par bandes en vue d'une culture de maïs suivant le blé d'automne*, ci-contre, montre que sur les sols à texture fine, le travail du sol par bandes à l'automne a produit généralement des rendements supérieurs à ceux du semis direct, mais ce n'est qu'à Wyoming que ces rendements ont été aussi élevés que les rendements obtenus à la suite d'un labour selon une méthode traditionnelle. À la fois les producteurs et les chercheurs ont soumis le travail du sol par bandes à un large éventail d'essais. Les résultats ne démontrent pas de façon constante que le travail du sol par bandes présente un avantage sur le plan du rendement par rapport au semis direct. Toutefois, lorsque les taux d'humidité ont été mesurés sur les parcelles de l'Université, les bandes travaillées se sont révélées systématiquement plus sèches au début mai que les parcelles non travaillées destinées au semis direct. Les rendements mesurés dans les essais réalisés côte à côte n'ont pas permis de faire ressortir la supériorité du travail du sol par bandes, mais cette méthode peut être avantageuse aux producteurs aux prises avec de vastes superficies de sols mal drainés ou recouverts d'une épaisse couche de résidus, du fait qu'elle permet de hâter les semis et d'accélérer la levée ainsi que la croissance du maïs.

Tableau 3–4.
Travail du sol par bandes en vue d'une culture de maïs suivant le blé d'automne[1]

Méthode de travail du sol[2]	Humidité du sol au début mai	Rendement	
		Wyoming	Centralia
Charrue à socs	23,3 %	9,97 t/ha (159 bo/ac)	9,22 t/ha (147 bo/ac)
Travail du sol par bandes à l'automne	25,6 %	9,97 t/ha (159 bo/ac)	8,72 t/ha (139 bo/ac)
Semis direct	29,8 %	9,35 t/ha (149 bo/ac)	8,47 t/ha (135 bo/ac)

Source : T.J. Vyn, 1997, Université de Guelph.

[1] Paille mise en balles, 1994–1996.

[2] Les parcelles travaillées à l'aide de la charrue à socs et du chisel ont été travaillées et ont fait l'objet d'un passage du rouleau au printemps. Les parcelles travaillées à l'automne par le passage du pulvériseur tandem et les parcelles ayant fait l'objet d'un travail du sol par bandes ont été ensemencées directement sans travail superficiel du sol au printemps. Tous les traitements ont été faits le même jour.

Le travail du sol par bandes peut aussi constituer une occasion de réduire le compactage du sol et/ou d'améliorer le drainage en effectuant un travail du sol en profondeur. Dans certains cas, on recommande de travailler le sol à une profondeur allant jusqu'à 30–35 cm (12–14 po). Peu d'études démontrent la pertinence d'effectuer un travail du sol par bandes profond dans le maïs. Toutefois, le travail du sol par bandes élimine automatiquement la circulation sur les bandes travaillées en profondeur au moins jusqu'à la prochaine récolte, ce qui laisse la chance au sol de se stabiliser avant d'être à nouveau soumis aux roues des véhicules.

Semis direct

Voici les principaux facteurs de gestion applicables au semis direct du maïs :

- drainage du sol;
- rotation des cultures;
- gestion des résidus;
- lutte contre les mauvaises herbes;

- mise en place de l'engrais;
- compactage du sol;
- lutte contre les maladies ou les ravageurs (voir *Semis direct*, p. 18.)

Drainage du sol

Si l'on pratique le semis direct, un bon drainage du sol améliore les chances que le sol s'assèche et que la semence puisse être mise en terre au moment opportun. Le drainage réduit les risques que les sols ne deviennent saturés d'eau et ne nuisent à la croissance et au fonctionnement des racines en début de saison. Il devient souvent évident pour les producteurs que le semis direct est très difficile à réussir dans les sols à texture fine qui ne bénéficient pas d'un système de drainage souterrain.

Rotation des cultures

La rotation des cultures peut être envisagée comme un substitut au travail du sol. Les rotations de courte durée comme la monoculture de maïs ne se prêtent pas au semis direct indépendamment de la qualité des autres pratiques culturales. De bonnes rotations qui comprennent une gamme plus large de cultures comme des légumineuses et des fourrages améliorent la structure du sol et assurent généralement la réussite du semis direct.

Gestion des résidus

Réduire les coûts liés au travail du sol en vue de la culture du maïs, accroître le bénéfice net et améliorer la santé à long terme du sol exigent des producteurs qu'ils prennent des décisions portant sur la meilleure façon de gérer les résidus de culture, notamment la paille de blé. Bon nombre de ces décisions les obligent à prendre certaines mesures avant de faire entrer la moissonneuse-batteuse dans le champ de blé. Lorsque l'intention du producteur est de gérer la paille de blé afin de faciliter le semis direct du maïs ou de pratiquer un travail réduit du sol avant cette culture, le mieux est de débarrasser le champ de la paille. Le tableau 3–5, *Effets de différentes quantités de paille de blé sur le rendement du maïs en semis direct*, ci-contre, indique les rendements du maïs obtenus au cours d'essais portant sur le travail du sol où trois niveaux différents de paille ont été laissés sur le champ et où le maïs a été semé en semis direct l'année suivante. Le fait d'enlever la paille des champs de maïs, particulièrement dans les cultures de blé à fort rendement et sur des sols à texture plus lourde, augmente les chances que le maïs en semis direct donne un rendement égal à celui du maïs dans les champs labourés à l'automne.

Tableau 3–5.
Effets de différentes quantités de paille de blé sur le rendement du maïs en semis direct[1, 2]

Méthode de travail du sol / Quantité de paille	Rendement du maïs
Semis direct / paille et chaume entièrement laissés sur place	9,16 t/ha (146 bo/ac)
Semis direct / paille en balles mais chaume laissé sur place	9,35 t/ha (149 bo/ac)
Semis direct / paille en balles et chaume coupé et enlevé	9,91 t/ha (158 bo/ac)
Charrue à socs / paille en balles mais chaume laissé sur place	9,97 t/ha (159 bo/ac)

Source : T. Vyn, G. Opuku et C. Swanton, Université de Guelph.

[1] Moyenne de 1994 à 1996 à Wyoming (Ontario).

[2] Le chaume atteignait des hauteurs d'environ 25–30 cm (10–12 po), sauf dans les parcelles où il avait été coupé et enlevé.

Quand il n'est pas envisageable d'ôter la paille, l'étalement uniforme de la paille et de la balle est de toute première importance pour que les méthodes de semis direct ou de travail réduit du sol donnent de bons résultats dans le maïs. Même lorsque la paille est laissée en andains, s'assurer que la balle est étalée aussi uniformément possible sur la surface la plus large possible durant le moissonnage-battage. Lorsque le printemps est frais et pluvieux, des plaques épaisses de résidus de blé en décomposition maintiennent les températures du sol plus fraîches, ralentissent la croissance et attirent les limaces, ce qui se traduit par des pertes de rendement qu'un étalement uniforme des résidus permet d'éviter.

Lorsque les risques d'érosions hydrique et éolienne sont faibles, les avantages du retournement de toute la paille peuvent dépasser les avantages liés à la pratique du travail réduit du sol. Sur les fermes où le potentiel d'érosion est plus élevé, l'adoption d'une méthode de travail réduit du sol, même si elle oblige à retirer une partie de la paille, est probablement plus viable. Une autre solution consiste à utiliser une méthode qui soumet les champs de blé à un léger travail du sol destiné à incorporer partiellement la paille tout en laissant la surface du sol largement protégée.

Les effets des apports d'azote visant à accélérer la dégradation de la paille ont été étudiés par des chercheurs à l'Université de Guelph. Il ressort de cette étude que lorsque de l'azote a été épandu sur la paille de blé à l'automne, la paille ne s'est pas décomposée plus vite. En outre, au moment où l'analyse de sol a été faite le printemps suivant, les concentrations

d'azote dans le sol n'étaient pas plus élevées sur ces parcelles que sur les parcelles qui n'avaient pas reçu d'azote.

Lutte contre les mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes est primordiale si l'on veut que le maïs donne un rendement optimal. Les efforts de lutte peuvent même devoir être intensifiés dans les champs soumis au semis direct, afin de combattre les mauvaises herbes vivaces et les nouvelles espèces de mauvaises herbes (apparues à la suite d'un changement dans les peuplements de plantes adventices). Les traitements de destruction chimique en présemis au printemps sont cruciaux pour laisser la chance à la culture de se développer sans subir la pression des mauvaises herbes pendant les premiers stades de croissance critiques.

Mise en place de l'engrais

Selon des études menées en Ontario, il risque de se produire une stratification des éléments nutritifs (éléments nutritifs concentrés près de la surface du sol) dans les champs soumis pendant longtemps au semis direct. Comme le semis direct n'offre pas la possibilité d'incorporer ou de mélanger au sol les engrais secs, la mise en place de l'engrais devient de plus en plus importante. Des résultats démontrent que l'influence sur le rendement d'une application en bandes de potassium (K) par le semoir dans les champs soumis au semis direct est souvent supérieure à celle qu'elle peut avoir sur les parcelles adjacentes labourées à l'aide d'une charrue à socs.

Un autre facteur important à considérer est que les sols soumis au semis direct sont souvent plus frais et moins bien aérés que les sols travaillés selon des méthodes traditionnelles. Ces conditions conduisent à une minéralisation de l'azote qui est plus lente dans les champs soumis au semis direct que dans les champs travaillés.

> Il est recommandé d'appliquer 35 kg d'azote/ha (31 lb/ac) dans l'engrais de démarrage épandu avec les semoirs à maïs de semis direct, afin de compenser pour la minéralisation plus lente de l'azote souvent observée dans les sols soumis au semis direct.

Compactage du sol

Le compactage du sol est souvent cité comme l'une des raisons qui expliquent pourquoi le semis direct ne donne peut-être pas un rendement aussi élevé que les méthodes traditionnelles de travail du sol. Un moyen d'améliorer les rendements du maïs cultivé selon des méthodes de travail réduit du sol peut être de bien ameublir le sol plus profondément. Cela peut se faire sans déranger à outrance les résidus de culture à la surface du sol et en se limitant aux zones qui recevront l'année suivante les rangs de maïs. Des chercheurs de l'Université de Guelph ont mis à l'essai cette méthode de travail du sol par bandes de 1998 à 2000 à des sites près de Granton et Ridgetown. Le tableau 3–6, *Effets de la méthode de travail du sol sur les rendements du maïs à la suite du blé d'automne*, ci-dessus, montre qu'un ameublissement profond ne s'est pas traduit par des gains de rendement ou a permis d'enregistrer des gains, mais insuffisants pour compenser les coûts du travail du sol en profondeur. Certains producteurs prétendent pourtant tirer des avantages de l'ameublissement profond des zones mal drainées ou des zones fortement compactées, comme les tournières.

Tableau 3–6.
Effets de la méthode de travail du sol sur les rendements du maïs à la suite du blé d'automne[1]

Méthode de travail du sol	Granton (loam–loam argileux)	Ridgetown (loam argileux)
Charrue à socs	11,35 t/ha (181 bo/ac)	7,78 t/ha (124 bo/ac)
Travail du sol profond par bandes à l'automne (30 cm)	10,79 t/ha (172 bo/ac)	8,15 t/ha (130 bo/ac)
Semis direct (3 coutres)	10,73 t/ha (171 bo/ac)	7,65 t/ha (122 bo/ac)
Semis direct (tasse-résidus)	10,85 t/ha (173 bo/ac)	7,78 t/ha (124 bo/ac)

Source : T. Vyn, B. Deen, K. Janovicek, D. Young, Université de Guelph.

[1] Moyenne de 1998–2000 à Granton et à Ridgetown (Ontario).

Choix des hybrides

Évaluation de la maturité

La croissance du maïs est étroitement liée à la température et ce, surtout entre le moment des semis et celui de l'apparition des soies. Contrairement au soya, la longueur du jour a peu d'influence sur la vitesse de croissance du maïs. Le Système ontarien des unités thermiques de croissance a été mis au point pour mesurer l'effet de la température sur la croissance du maïs. Les unités thermiques de croissance (UTC) sont calculées en fonction des températures maximales et minimales quotidiennes,

et permettent d'attribuer une cote numérique aux saisons de croissance, aux régions géographiques et aux hybrides de maïs. Grâce à ce système, les producteurs peuvent choisir les hybrides dont la cote d'UTC offre une probabilité élevée que les plants puissent atteindre la maturité avant la première gelée meurtrière.

Le tableau 3-7, *Accumulations saisonnières moyennes d'unités thermiques de croissance en différents points de l'Ontario*, p. 63, indique les UTC accumulées au cours d'une saison de croissance moyenne en différents points de l'Ontario.

Les producteurs qui consignent les maxima et minima peuvent se servir du tableau 3-8, *Accumulations quotidiennes d'unités thermiques de croissance en fonction des températures maximales et minimales*, p. 64, pour calculer les UTC sur leur propre ferme.

Des systèmes différents sont utilisés ailleurs pour quantifier l'effet de la température sur la croissance du maïs et pour évaluer la maturité des hybrides de maïs. Malheureusement, ces systèmes ne permettent pas d'effectuer de conversions mathématiques de l'un à l'autre. Le tableau 3-9, *Conversions approximatives entre trois systèmes de mesure des accumulations de chaleur au cours d'une saison de croissance*, p. 65, fournit des données permettant d'établir des comparaisons valables entre les différents systèmes.

Choix des hybrides les plus profitables

Le choix de l'hybride est sans doute la décision de gestion qui a le plus d'influence sur la rentabilité de la culture. Des hybrides de maïs de plus en plus performants n'ont cessé d'être introduits sur le marché au cours des 40 dernières années, amenant avec eux des augmentations de rendement de l'ordre de 1,5 % par année. Pour demeurer concurrentiels, les producteurs doivent périodiquement introduire dans leurs champs de nouveaux hybrides. Voici les principaux points à considérer dans le choix de ces hybrides :

Maturité et unités thermiques de croissance

En utilisant les cotes d'unités thermiques de croissance, choisir les hybrides qui parviendront à maturité (stade point noir) avant la date où survient normalement la première gelée de fin de saison dans la région. Le tableau 3-7, p. 63, la figure 3-1, *Unités thermiques disponibles pour la culture du maïs*, p. 66, ou les registres de la ferme fournissent les unités thermiques de croissance qui sont normalement accumulées dans une région donnée. Par exemple, pour quelqu'un qui vit près de Brucefield, les données à long terme tirées du tableau 3-7 indiquent une accumulation moyenne d'unités thermiques de croissance de 2823. Cette moyenne correspond à l'accumulation des unités thermiques à partir du 16 mai. Si un producteur peut devancer les semis de manière à ce que la levée survienne avant le 16 mai, il doit choisir un hybride qui possède une cote de 100-150 UTC supérieure à la cote recommandée de 2800 UTC pour la saison au complet. Déjà à la fin de mai, soit 2 semaines plus tard, 230 UTC se sont habituellement accumulées. Si les semis sont retardés passé cette date, il s'agit de choisir un hybride qui est recommandé pour un moins grand nombre d'UTC (voir la rubrique *Dates de transition*, p. 68).

Rendement le plus élevé

Dans tout essai de rendement portant sur un hybride donné, il peut y avoir un écart de rendement de 1,88-2,50 t/ha (30-40 bo/ac) entre les hybrides les plus performants et ceux qui le sont le moins. Cette réalité fait ressortir l'importance d'obtenir de l'information fiable sur le potentiel de rendement et l'adaptabilité des hybrides. Les producteurs disposent de deux grandes sources d'information : les données provenant des essais de rendement et les données provenant des bandes d'essais.

Le Comité ontarien du maïs effectue chaque année à la grandeur de la province des essais de rendement portant sur différents hybrides de maïs. Ces essais de rendement portent sur la majorité des hybrides offerts sur le marché. En général, ces essais sont effectués de manière à ce qu'une série d'hybrides donnés, correspondant à une certaine fourchette d'unités thermiques de croissance soient mis à l'essai à trois ou quatre endroits. Ces essais donnent une bonne indication du potentiel de rendement, mais comme ils sont limités à quelques emplacements, ils sont peu révélateurs de la capacité d'adaptation des hybrides à une gamme étendue de conditions. Pour ce genre d'information, les producteurs doivent s'en remettre aux résultats des bandes d'essai qui sont semées en de multiples endroits caractérisés par des conditions très diverses. Les fournisseurs de semence offrent habituellement un bilan des résultats obtenus dans les bandes d'essai.

Bien des producteurs tiennent à faire eux-mêmes l'essai d'hybrides de maïs en aménageant des bandes d'essai sur leur propre ferme. Ils ont ainsi la chance de soumettre aux mêmes pratiques culturales les nouveaux hybrides à haut potentiel de rendement et les hybrides au rendement éprouvé et de comparer les résultats obtenus. Il faut néanmoins garder à l'esprit que le choix d'un hybride doit reposer sur sa mise à

Tableau 3–7.
Accumulations saisonnières moyennes d'unités thermiques de croissance en différents points de l'Ontario

Endroit	Date moyenne de début de saison[1]	Unités thermiques accumulées au :																					Date moyenne de fin de saison[2]
		Mai	Juin				Juillet				Août					Septembre				Octobre			
		30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	
Harrow	8 mai	388	536	701	870	1041	1225	1411	1602	1799	1988	2178	2360	2539	2718	2893	3055	3198	3324	3430	3515	3534	11 oct.
Ridgetown	11 mai	324	465	621	781	947	1125	1305	1491	1681	1864	2048	2223	2396	2568	2737	2894	3031	3154	3255	3332	3342	10 oct.
Vineland	17 mai	201	321	467	621	783	957	1138	1326	1517	1703	1891	2071	2245	2418	2587	2744	2877	2997	3098	3176	3188	10 oct.
Sarnia	13 mai	262	392	537	686	839	1010	1185	1366	1551	1729	1909	2082	2250	2420	2582	2736	2869	2981	3076	3146	–	9 oct.
Belleville	14 mai	270	406	555	712	875	1048	1228	1414	1605	1791	1978	2156	2325	2494	2656	2804	2928	3038	3128	3139	–	4 oct.
Cornwall	13 mai	287	420	564	722	885	1057	1233	1417	1603	1786	1971	2144	2308	2468	2623	2762	2877	2979	3054	–	–	1er oct.
Delhi	13 mai	274	406	554	705	860	1028	1198	1372	1552	1725	1901	2067	2228	2390	2547	2692	2813	2923	3006	3036	–	4 oct.
Brockville	15 mai	249	376	517	668	826	993	1166	1347	1531	1711	1892	2064	2226	2386	2540	2680	2796	2898	2982	2992	–	3 oct.
London	15 mai	252	377	518	663	815	979	1145	1317	1494	1665	1837	1999	2157	2314	2466	2604	2720	2821	2899	–	–	2 oct.
Ottawa	16 mai	247	379	521	674	834	1002	1175	1356	1537	1711	1890	2057	2214	2369	2517	2650	2758	2850	2885	–	–	28 sept.
Brucefield	16 mai	230	353	491	632	778	937	1097	1265	1436	1601	1768	1924	2077	2230	2379	2516	2631	2734	2813	2823	–	3 oct.
Cheneaux	17 mai	222	346	485	632	789	953	1123	1300	1477	1650	1827	1993	2150	2304	2452	2583	2688	2780	2814	–	–	28 sept.
Kemptville	17 mai	216	341	478	625	779	940	1106	1281	1456	1626	1798	1959	2108	2258	2402	2530	2631	2712	2731	–	–	26 sept.
Guelph	19 mai	178	295	430	568	712	867	1027	1193	1364	1527	1693	1848	1997	2148	2294	2427	2536	2632	2682	–	–	30 sept.
Peterborough	19 mai	193	312	445	584	729	884	1043	1210	1379	1542	1707	1861	2005	2150	2289	2416	2519	2601	–	–	–	24 sept.
Midhurst	20 mai	170	281	411	546	689	842	1001	1165	1336	1500	1666	1822	1972	2123	2263	2392	2492	2571	2596	–	–	26 sept.
Wiarton	26 mai	87	169	279	399	529	672	824	984	1149	1308	1470	1621	1766	1913	2053	2180	2283	2373	2402	–	–	28 sept.
North Bay	21 mai	155	265	390	525	667	821	980	1146	1314	1477	1638	1790	1931	2073	2205	2321	2384	–	–	–	–	17 sept.
Mount Forest	23 mai	121	213	334	456	587	733	879	1034	1191	1341	1497	1637	1773	1914	2048	2166	2264	2342	–	–	–	25 sept.
Thunder Bay	3 juin	30	82	158	250	364	491	630	774	925	1068	1213	1346	1473	1598	1709	1789	–	–	–	–	–	10 sept.

Source : A. Bootsma, Agriculture et Agroalimentaire Canada, et D.M. Brown, Université de Guelph.

[1] La date de début de saison (à partir de laquelle les UTC commencent à s'accumuler) correspond au dernier de trois jours consécutifs où la température moyenne de l'air le jour a été supérieure ou égale à 12,8 °C (55 °F), la première journée de cette période de trois jours devant survenir après la date où, chaque année au printemps, à chaque station météorologique, la moyenne sur 30 ans de la température de l'air le jour atteint 10 °C (50 °C).

[2] La date de fin de saison (celle où cesse l'accumulation des UTC) survient à la première des dates suivantes, soit 1) la première fois où la température tombe à –2 °C (28 °F); ou 2) la date où la moyenne sur 30 ans de la température de l'air le jour tombe à 12 °C (54 °F) ou moins.

CHOIX DES HYBRIDES

Tableau 3–8.
Accumulations quotidiennes d'unités thermiques de croissance en fonction des températures maximales et minimales

Valeurs quotidiennes d'UTC pour chaque température enregistrée (en °C)																					
		Température diurne minimale enregistrée																			
Température diurne maximale enregistrée (°C)	< 5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
≤ 10	0	1	1	2	3	4	5	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
11	2	2	3	4	5	6	7	8	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
12	3	4	5	5	6	7	8	9	10	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
13	5	5	6	7	8	9	10	11	11	12	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
14	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
15	7	8	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	:	:	:	:	:	:	:	:	:
16	8	9	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	19	:	:	:	:	:	:	:	:
17	10	10	11	12	13	14	15	16	16	17	18	19	20	21	:	:	:	:	:	:	:
18	11	11	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	:	:	:	:	:	:
19	12	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	:	:	:	:	:
20	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26	:	:	:	:
21	13	14	15	16	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25	26	27	28	:	:	:
22	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	24	25	26	27	28	29	30	:	:
23	15	15	16	17	18	19	20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	29	30	31	:
24	15	16	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31	32	33
25	16	16	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	31	32	33
26	16	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	33
27	16	17	18	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34
28	16	17	18	19	20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	29	30	31	32	33	34
29	16	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	31	32	33	34
30	17	17	18	19	20	21	22	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	31	32	33	34
31	16	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	31	32	33	34
32	16	17	18	19	20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	29	30	31	32	33	34
33	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34
34	16	16	17	18	19	20	21	22	23	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	32	33

l'essai à plus de un endroit, même si l'essai a lieu à la ferme même. Avant de choisir des hybrides destinés à couvrir une grande superficie, les producteurs devraient tenir compte des données sur deux ans provenant de nombreux sites (idéalement plus de 30).

> Ne jamais acheter un hybride sans consulter les données sur le rendement disponibles.

Le Comité ontarien du maïs publie chaque décembre un rapport sur le rendement des hybrides, intitulé *Hybrid Performance Trial Report*. Cette information est également accessible sur le site Web de la Ontario Corn Producers's Association à l'adresse que voici : www.ontariocorn.org.

Les résultats des bandes d'essais obtenus par de nombreux fournisseurs de semence sont par ailleurs publiés sur le site Web de l'Association pour

Tableau 3–9.
Conversions approximatives entre trois systèmes de mesure des accumulations de chaleur au cours d'une saison de croissance

Système d'unités thermiques de croissance de l'Ontario (UTC)	Maturité relative du maïs (MRM)	Degré-jour (Base 10) (DJ)
2 400	75	1 670
2 500	78	1 780
2 600	82	1 870
2 700	85	1 970
2 800	89	2 075
2 900	93	2 175
3 000	97	2 280
3 100	100	2 380
3 200	104	2 480
3 300	107	2 585
3 400	110	2 685

l'amélioration des sols et des cultures de l'Ontario à l'adresse www.ontariosoilcrop.org.

« Chevaux de trait » c. « chevaux de course »

Les hybrides de maïs sont souvent classés dans des catégories qu'on a désignées « chevaux de trait » et « chevaux de course ». Les hybrides « chevaux de course » sont ceux qui produisent des rendements supérieurs à la moyenne sous de bonnes conditions, mais inférieurs à la moyenne quand les conditions de croissance laissent à désirer. On qualifie de « chevaux de trait » les hybrides qui offrent des rendements relativement constants indépendamment des conditions de croissance. La plupart des hybrides qui affichent des performances variables (les « chevaux de course ») ont des défauts particuliers qui les amènent à donner des rendements inférieurs à la moyenne lorsqu'ils sont exposés à certaines conditions. Les producteurs peuvent éviter certains des risques associés au choix des hybrides en prenant le temps de se renseigner le plus possible sur les rendements antérieurs des hybrides. Choisir des hybrides qui se complètent et ne présentent pas tous les mêmes faiblesses. Par exemple, au moment de choisir deux hybrides de pleine saison offrant un haut potentiel de rendement pour des semis hâtifs, prendre garde de ne pas choisir deux hybrides mal cotés pour ce qui est de la vigueur de la tige.

Résistance à la verse

Tout en recherchant des hybrides qui parviennent à maturité au bon moment et qui offrent des potentiels de rendement remarquables, il est bon d'évaluer les choix d'hybrides en ce qui a trait à leur résistance à la verse. Ce trait est particulièrement important là où l'on s'attend à ce que le champ s'assèche considérablement. Si la ferme possède des installations de séchage et qu'il est possible de récolter le maïs alors que sa teneur en eau est relativement élevée (> 26 %), la résistance à la verse revêt une moins grande importance. Les caractéristiques associées à une plus grande résistance à la verse comprennent la résistance aux pourritures de la tige et aux brûlures des feuilles, la vigueur génétique de la tige (une tige à l'écorce épaisse), un plant de faible hauteur, des épis placés bas sur le plant et un fort pourcentage de plants sains en fin de saison.

L'un des progrès les plus remarquables en ce qui a trait à la résistance à la verse a été l'introduction des hybrides Bt qui sont résistants à la pyrale du maïs. En moyenne, dans l'ensemble de la province, les hybrides Bt procurent, par rapport aux hybrides non-Bt, des gains de rendement qui compensent le coût accru de la semence Bt. Dans les régions de la province où la pression exercée par la pyrale du maïs est normalement élevée et là où le maïs est semé plus tôt ou plus tard que la majorité du maïs des environs, il est souvent très avantageux pour les producteurs de choisir des hybrides intégrant le gène Bt.

Pour plus d'information sur la lutte contre la pyrale du maïs à l'aide d'hybrides Bt, voir la rubrique *Pyrale du maïs*, p. 95.

Teneurs en eau à la récolte et coûts de séchage

Le choix des hybrides peut également être influencé par les teneurs en eau recherchées. Lorsque le maïs est entreposé en tant que céréale à haute teneur en eau (28 %, par exemple), les producteurs ont plus de chances de maximiser leurs rendements en choisissant des hybrides de pleine saison très performants. Lorsque le maïs à entreposer est séché, les producteurs doivent évaluer les répercussions que de fortes teneurs en eau à la récolte peuvent avoir sur le bénéfice net. Il peut arriver par exemple que les gains potentiels tirés d'un hybride produisant 0,31 t/ha (5 bo/ac) de plus qu'un autre se trouvent complètement anéantis par les coûts de séchage accrus associés à cet hybride.

Choix des hybrides destinés à l'ensilage

Au moment de choisir des hybrides destinés spécifiquement pour l'ensilage plante entière, il est habituellement avantageux sur le plan du rendement de choisir des hybrides cotés de 100 à 200 UTC de plus que ceux qui sont choisis pour le grain. Voici les critères qui doivent présider au choix des hybrides :

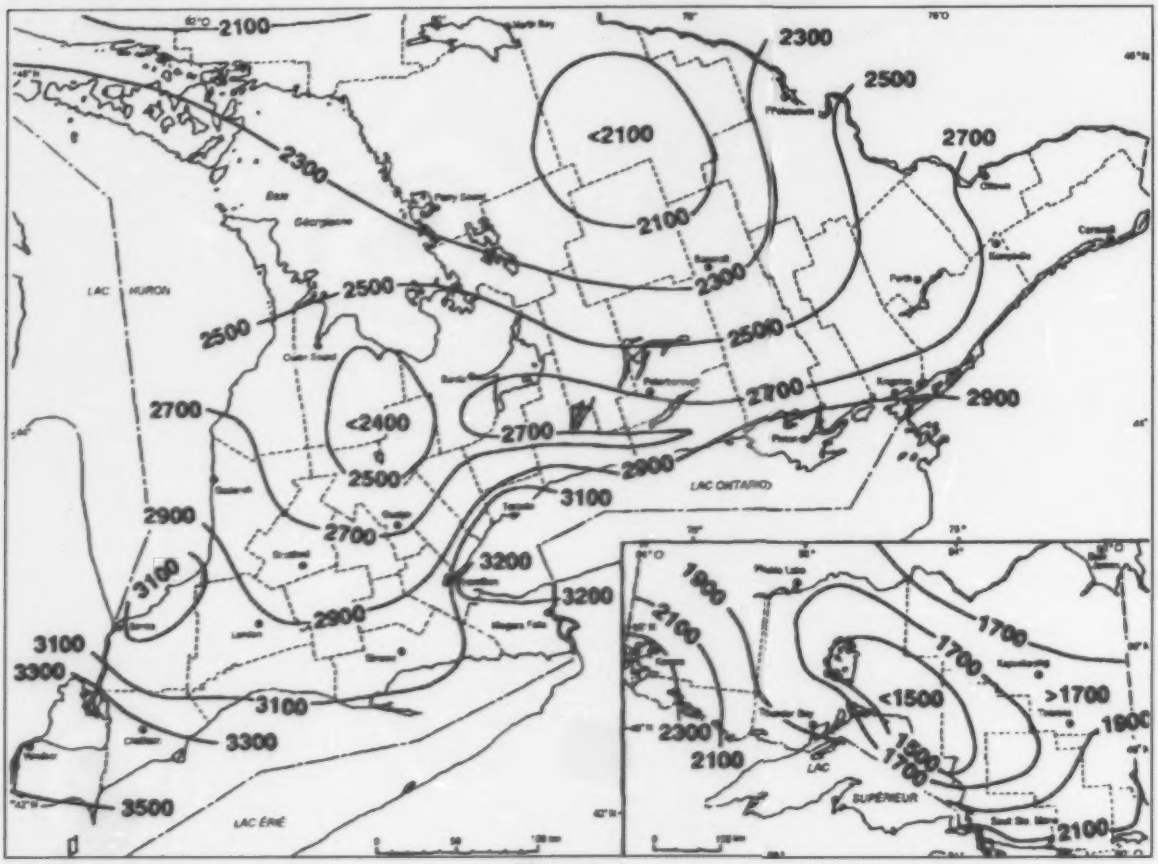


Figure 3–1.

Unités thermiques disponibles pour la culture du maïs

Cette carte tient compte des données météorologiques recueillies de 1961 à 1990.
La valeur moyenne des UTC est atteinte 50 % du temps.

un rendement élevé à l'ensilage et une énergie digestible élevée. Il existe sur le marché des hybrides spécifiquement destinés à l'ensilage et des hybrides à double usage. Les hybrides à double usage peuvent offrir une certaine souplesse lorsqu'on doit pouvoir envisager de récolter le grain, notamment lorsque le silo est plein.

Si l'on ne dispose pas de données indépendantes suffisantes, il est très difficile de comparer les hybrides de maïs d'ensilage offerts par les différents fournisseurs et de faire un choix parmi eux. Choisir des hybrides qui, sur les listes établies par les fournisseurs au terme de leurs recherches, figurent parmi les plus performants en termes de rendements à l'ensilage, de digestibilité de la plante entière ainsi que de digestibilité des fibres et de l'amidon.

Divers modèles sont utilisés pour comparer la valeur économique des hybrides de maïs d'ensilage. La University of Wisconsin a élaboré les calculs de « lait par acre » et de « lait par tonne » qui sont faits à l'aide du programme Milk 2000, afin de combiner en une seule mesure les caractéristiques de rendement à l'ensilage, de digestibilité, de teneurs en fibres, en amidon et en protéines brutes, et de potentiel de prise alimentaire. Les calculs de « lait par tonne » sont un indice de qualité, tandis que les mesures de « lait par acre » sont révélateurs à la fois du rendement et de la qualité.

Passage à des hybrides à cycle plus court

Les conditions du champ peuvent retarder les semis et justifier de choisir des hybrides qui mettent moins de temps à parvenir à maturité. Cette décision doit tenir compte du potentiel de rendement des hybrides à cycle plus court, du poids spécifique, des coûts de séchage et des capacités de récolte en fin de saison. Le maïs-grain affiche 90 % de son poids total en grain avant que la ligne de maturité ne se situe à la moitié de la hauteur du grain (ligne de maturité ½), un stade de maturité que même les hybrides de pleine saison

Tableau 3–10.
Poids spécifique du maïs-grain et probabilités d'impuretés[1]

Grade	Poids spécifique minimal (kg/ha)	Poids spécifique minimal (lb/bo)	Probabilités d'impuretés ($/t)
1	68,0	55,6	0,00
2	66,0	54,1	0,00
3	64,0	52,6	0,79
4	62,0	51,0	3,94
5	58,0	47,7	7,88

[1] D'après les données du marché de 2001. Les probabilités d'impuretés peuvent varier considérablement selon l'année et l'endroit.

semés tard atteignent la plupart des années. Le passage à des hybrides à cycle plus court peut être une solution de rechange valable du point de vue du rendement en grain, pourvu que le rendement des hybrides plus hâtifs ne soit pas de plus de 10 % inférieur à celui des hybrides de pleine saison. En général, cette solution est plus avantageuse lorsqu'on cultive des hybrides de 3000 UTC comme hybrides de pleine saison, ce qui permet de passer à des hybrides qui exigent 100–150 UTC de moins sans trop sacrifier les rendements. Si, par contre, on cultive des hybrides de pleine saison qui exigent autour de 2650 UTC, il est peu probable que le passage à un hybride exigeant 100 UTC de moins ne se traduise pas par une baisse de rendement supérieure à 10 %.

Préoccupations liées au poids spécifique

Des poids spécifiques plus faibles sont à craindre lorsque les gelées de fin de saison surviennent avant que le maïs semé tard n'ait atteint la maturité (point noir). Il faut donc tenir compte du poids spécifique possible lorsqu'on choisit des hybrides destinés à être semés à la fin du printemps. Le tableau 3–10, *Poids spécifique du maïs-grain et probabilités d'impuretés*, ci-dessus, présente les probabilités d'impuretés dans un maïs de poids spécifique plus faible livré à un silo-élévateur ou à un utilisateur final. Les préoccupations liées au poids spécifique peuvent être étrangères aux exploitants qui manipulent et donnent aux animaux tout le maïs qu'ils produisent. Ces derniers peuvent décider de s'en tenir aux hybrides de pleine saison pendant une plus grande partie de la saison de croissance. L'expérience acquise en 1992 et en 2000 ainsi que les recherches menées ces mêmes années indiquent qu'il y a peu, sinon aucune corrélation entre le poids spécifique et la valeur nutritive du maïs servi aux animaux d'élevage. Les producteurs qui livrent tout leur maïs à des silos-élévateurs ou à des

Tableau 3–11.
Effet de la date de maturité des hybrides sur le rendement, la teneur en eau à la récolte et le bénéfice net dans trois zones du Michigan[1]

	Hybride	Zone 1 3 200 UTC	Zone 2 3 100 UTC	Zone 3 2 900 UTC
Rendement	Hâtif	10,35 t/ha (165 bo/ac)	10,16 t/ha (162 bo/ac)	9,66 t/ha (154 bo/ac)
	Moyen	10,79 t/ha (172 bo/ac)	10,73 t/ha (171 bo/ac)	9,97 t/ha (159 bo/ac)
	Tardif	10,98 t/ha (175 bo/ac)	10,97 t/ha (175 bo/ha)	10,16 t/ha (162 bo/ac)
Teneur en eau	Hâtif	19,4 %	20,8 %	21,7 %
	Moyen	21,9 %	24,3 %	24,2 %
	Tardif	24,6 %	26,7 %	28,2 %
Bénéfice net après séchage	Hâtif	970,91 $/ha (393,08 $/ac)	941,96 $/ha (381,36 $/ac)	890,83 $/ha (360,66 $/ac)
	Moyen	987,98 $/ha (399,99 $/ac)	956,38 $/ha (387,20 $/ac)	896,34 $/ha (362,89 $/ac)
	Tardif	975,97 $/ha (395,13 $/ac)	955,87 $/ha (386,99 $/ac)	873,27 $/ha (353,55 $/ac)

Source : K. Dysinger, S. Canty et J. Kells. 1998. Michigan State University. *Extension Bulletin E-431.*

[1] Moyenne de 1990 à 1996. Prix en $US.

transformateurs peuvent pour leur part être tentés de passer à des hybrides à cycle plus court, afin d'accroître les chances d'obtenir des poids spécifiques convenables à la récolte. Dans les zones à cycle plus court, les producteurs qui craignent des pertes de rendement considérables à la suite du passage à des hybrides à cycle plus court peuvent envisager de s'en tenir aux hybrides de pleine saison mais en choisissant des hybrides offrant des poids spécifiques plus élevés.

Coûts du séchage

Les hybrides de pleine saison et/ou les semis tardifs risquent d'obliger les producteurs à engager des coûts de séchage accrus. Il est important de bien soupeser les éventuels avantages sur le plan du rendement que pourraient procurer des hybrides venant à maturité plus tard et les coûts de séchage accrus qui leur sont associés. Le tableau 3–11, *Effet de la date de maturité des hybrides sur le rendement, la teneur en eau à la récolte et le bénéfice net dans trois zones du Michigan*, ci-dessus, présente les résultats d'une recherche effectuée à la Michigan State University vers la fin des années 1990. Le rendement, la teneur en eau et le bénéfice net après séchage ont été évalués en fonction de diverses valeurs de rendement, de teneur en eau et de bénéfice net après séchage, pour des hybrides venant à

maturité à différents moments et dans plusieurs zones différentes au sein de l'État. L'étude confirme que même si les hybrides plus tardifs produisent de façon constante des rendements supérieurs à ceux des hybrides plus hâtifs, les coûts de séchage annulent généralement tout avantage en termes de bénéfice net. Lorsque des méthodes de séchage économiques sont accessibles ou qu'il est possible d'entreposer le maïs grain humide à la ferme, il y a peut-être moins d'avantages à passer à des hybrides à cycle plus court que lorsque les producteurs doivent s'en remettre au séchage commercial. Si le silo-élévateur demande 12,80 $CA/tonne (0,33 $CA/bo) pour sécher le maïs et faire baisser sa teneur en eau de 25,0 à 15,5 %, mais qu'il demande 15,36 $CA/tonne (0,39 $CA/bo) pour faire passer la teneur en eau de 30,0 à 15,5 %, il faut que le maïs le plus humide fournisse au moins un rendement de 0,19 t/ha (3 bo/ac) de plus pour compenser les frais de séchage supplémentaires.

Récolte

Le fait de continuer à cultiver des hybrides à haut rendement et à cycle plus long peut soulever certains problèmes de logistique à la récolte. Il faut veiller à ce que les champs qui ont été ensemencés d'hybrides risquant de venir à maturité tardivement soient bien drainés et en mesure de supporter les charges imposées par le passage de la machinerie, de manière à ce que la récolte soit facilitée si les conditions sont moins qu'idéales en fin de saison. Éviter de semer des hybrides à cycle plus long dans les régions de la province qui risquent davantage de recevoir de la neige en novembre. La neige adhère aux feuilles et aux spathes, ce qui rend la récolte impossible tant que les conditions n'ont pas changé.

Dates de transition

Pioneer Hi-Bred International Inc. a mené une recherche poussée à la grandeur de la ceinture de maïs septentrionale dans le but de déterminer la date optimale à laquelle les producteurs devraient renoncer à semer des hybrides de pleine saison. Le tableau 3–12, *Dates recommandées pour cesser de semer des hybrides de pleine saison dans différentes zones d'unités thermiques de croissance*, ci-contre, résume quelques-unes des conclusions de cette étude. Les nombreuses données à long terme qui ont été colligées prenaient en considération les rendements des hybrides appartenant aux différentes cotes de maturité ainsi que les déductions à faire au titre du poids spécifique et des coûts de séchage. La date de transition correspond à la date de semis à partir de laquelle les hybrides à cycle plus court surpassent les hybrides de pleine saison en termes de bénéfice net (produit brut diminué des déductions à faire au titre des coûts de séchage et du poids spécifique).

Tableau 3–12.
Dates recommandées pour cesser de semer des hybrides de pleine saison dans différentes zones d'unités thermiques de croissance

Zone d'unités thermiques de croissance	Date de transition
3 125–3 300	Début juin
2 950–3 150	20–25 mai
2 800–3 075	20–25 mai

Source : Adapté de R. Iragavarapu. *Basing Hybrid Maturity on Long-Term Data.* Pioneer Hi-Bred International Inc.

La culture d'hybrides ayant des dates de maturité différentes offre une certaine protection contre les risques de stress au moment de l'apparition des soies et en fin de saison. Toutefois, le passage systématique à des hybrides à cycle plus court doit se faire à partir du 1er juin dans le sud-ouest de l'Ontario (> 3000 UTC), à partir du 25 mai dans les régions où se cultivent des hybrides de mi-saison (2 700–3 000 UTC) et à partir du 20 mai dans les zones de culture de maïs à cycle plus court encore (< 2 700 UTC).

> La règle générale à observer est d'opter pour un hybride exigeant 100 UTC de moins pour chaque semaine où les semis sont retardés au delà de la date limite prévue pour les hybrides de pleine saison.

Ce sont-là des directives générales qui ont besoin d'être adaptées à la situation de chaque ferme en tenant compte des facteurs décrits plus haut et en consultant les représentants des fournisseurs de semence.

Semis

Date de semis

Les rendements les meilleurs sont habituellement obtenus lorsque le maïs est semé fin avril ou dans la première quinzaine de mai, du fait que la culture peut alors tirer parti de la saison de croissance complète. Plus le semis se fait tôt, plus la culture parvient à maturité tôt à l'automne, ce qui réduit le risque de dommages par une éventuelle gelée automnale précoce ou du mauvais temps au moment de la récolte. L'idéal est de faire les semis avant le 7 mai dans le sud-ouest de l'Ontario, et avant le 10 mai dans le centre et l'est de l'Ontario. Tout retard dans l'ensemencement peut entraîner une chute des rendements, évaluée en moyenne à 40 kg/ha par jour de retard.

Tableau 3–13.
Espacement des semences permettant d'atteindre diverses densités de peuplement

N^bre final de plants/ha	N^bre final de plants/ac	Écartement des rangs en cm (en po)													
		38	(15)	51	(20)	56	(22)	71	(28)	76	(30)	91	(36)	97	(38)
54 300	22 000	48	(19,0)	36	(14,3)	33	(13,0)	26	(10,2)	24	(9,5)	20	(7,9)	19	(7,5)
59 300	24 000	44	(17,4)	33	(13,1)	30	(11,9)	24	(9,3)	22	(8,7)	18	(7,2)	18	(6,9)
64 200	26 000	41	(16,1)	31	(12,1)	28	(11,0)	22	(8,6)	20	(8,1)	17	(6,7)	16	(6,4)
69 200	28 000	38	(14,9)	29	(11,2)	26	(10,2)	20	(8,0)	19	(7,5)	16	(6,2)	15	(5,9)
74 100	30 000	35	(13,9)	27	(10,5)	24	(9,5)	19	(7,5)	18	(7,0)	15	(5,8)	14	(5,5)
79 000	32 000	33	(13,1)	25	(9,8)	23	(8,9)	18	(7,0)	17	(6,6)	14	(5,4)	13	(5,2)
84 000	34 000	31	(12,3)	23	(9,2)	21	(8,4)	17	(6,6)	16	(6,1)	13	(5,1)	12	(4,9)

1 ha = 2,47 ac; 1 cm = $^{39}/_{100}$ po

Selon le nombre de jours nécessaires pour ensemencer toute la superficie consacrée à la culture du maïs, il est généralement nécessaire de commencer les semis bien avant la date optimale. Les producteurs qui veulent devancer considérablement la date de semis optimale, qui se situe entre les 15 et 25 avril, doivent garder à l'esprit que le sol doit atteindre une température d'au moins 10 °C (50 °F) pour que la germination et la levée puissent avoir lieu. On évalue la température quotidienne moyenne en lisant la température vers 11 h 30 le matin à l'aide d'un thermomètre de sol (aussi appelé géothermomètre) de 10 cm (4 po). Si la température du sol moyenne se situe à au moins 10 °C (50 °F), que les conditions de sol sont favorables et que la météo prévoit des températures égales ou supérieures à la moyenne, des semis hâtifs sur au moins une portion de la superficie sont recommandés. Après le 26 avril (le 1^er^ mai dans les zones recevant moins de 2 700 UTC), il est généralement conseillé de fonder la décision de procéder aux semis moins sur la température du sol et plus sur les conditions d'humidité du sol.

Densité de peuplement

Les peuplements dont il est question ici représentent les peuplements finals recommandés (consulter le tableau 3–13, *Espacement des semences permettant d'atteindre diverses densités de peuplement*, ci-dessus). Puisque certaines graines ne lèvent pas, il faut utiliser des doses de semis légèrement supérieures. Lorsque l'ensemencement est fait tôt dans la saison ou que le sol est encore froid, il est recommandé de semer à un taux de 10 % supérieur à la densité de peuplement finale visée. Dès que le sol s'est réchauffé, une majoration de 5 % suffit.

En Ontario, le maïs est généralement cultivé à raison de 64 000 à 74 000 plants/ha (26 000 à 30 000 plants/ac). Cette densité peut fournir de bons rendements sous un grand éventail de conditions de croissance sans que la verse ne devienne un problème trop sérieux. Depuis quelques années, on a créé des hybrides qui tolèrent mieux les fortes densités de peuplement sans subir de verse ni souffrir d'infertilité aiguë. Des recherches ont démontré que lorsque des hybrides anciens et nouveaux sont cultivés côte à côte à des densités de peuplement très faibles, ils procurent des rendements presque identiques. Les nouveaux hybrides donnent des rendements accrus lorsque les densités de peuplement sont plus grandes. Les améliorations de rendement découlent pour la plupart de la mise au point d'hybrides qui excellent à des densités de peuplement plus grandes. Certains des hybrides les plus récents donnent un maximum de rendement sur le plan économique à des densités de peuplement allant de 74 000 à 86 000 plants/ha (30 000–35 000 plants/ac). Consulter les données des fournisseurs de semence pour sélectionner la bonne densité de peuplement en fonction de l'hybride utilisé.

Les producteurs craignent qu'un taux de semis accru ne se traduise pas toujours par un potentiel de rendement accru. Il s'agit là d'une crainte fondée, notamment dans les champs sujets à la sécheresse où la disponibilité de l'eau, et non l'interception de la lumière, est presque toujours le facteur limitatif au niveau du rendement. Certaines économies peuvent être réalisées en rajustant les densités de peuplement à la baisse dans ces cas. Des études menées aux É.-U. révèlent que la densité de peuplement optimale dans la ceinture de maïs du Midwest est de 67 000 plants/ha (27 160 plants/ac). D'après les chercheurs ayant mené ces études, pour chaque augmentation de 9,4 t/ha (15 bo/ac) du potentiel de rendement d'un champ (ou d'une partie d'un champ), la densité de peuplement optimale sur le

plan économique augmente de 1 112 plants/ha (450 plants/ac).

En Ontario, il est fréquent de viser des densités de peuplement finales moyennes plus élevées que dans le Midwest américain. Les champs les plus productifs devraient accueillir des densités de peuplement frôlant les densités maximales pour l'hybride choisi. Dans les régions de la province où la saison de croissance est plus courte, où l'on cultive des hybrides de plus petite taille, on a encore plus tendance à maintenir des densités de peuplement élevées afin de maximiser l'interception de la lumière et d'optimiser les rendements En général, les augmentations de rendement découlant des densités de peuplement accrues ont été les plus faibles dans les régions les plus douces de l'Ontario (régions de plus de 2 900 UTC).

Puisque la verse est moins problématique dans les champs de maïs destinés à l'ensilage plante entière, des densités de peuplement plus élevées (de 10 %) que celles qui s'appliquent au maïs-grain sont souvent recommandées. Des recherches menées à la Cornell University indiquent que pour les producteurs d'ensilage qui adoptent des densités de peuplement extrêmement élevées, soit de 111 200 à 123 500 plants/ha (45 000–50 000 graines/ac), les hybrides qui donnent dans le cadre des essais, des densités supérieures à 86 500 plants/ha (35 000 plants/ac) ne présentent aucun avantage. Ces recherches ont également fait ressortir qu'il faut s'attendre pour tous les hybrides à une diminution constante de la digestibilité de l'ensilage au fur et à mesure que les peuplements augmentent. Les producteurs doivent également noter que les hybrides d'ensilage présentent une plus grande diversité génétique et que les densités de peuplement optimales peuvent varier d'un hybride à l'autre.

Profondeur de semis

La première règle à observer en ce qui a trait à la profondeur des semis de maïs est de déposer la semence dans une couche humide. Il y a également d'autres points à prendre en considération au moment de régler la profondeur de semis. Des semis trop superficiels, c.-à-d. à moins de 3 cm (1¼ po) de profondeur, même dans un sol humide, peuvent provoquer un mauvais positionnement du point végétatif et des premières racines coronales. Il peut alors s'ensuivre le syndrome de l'absence de racines dans certains cas et prédisposer la semence à des dommages plus graves par les herbicides. Certains herbicides radiculaires obligent à enfouir les semences à des profondeurs d'au moins 3,75 cm (1½ po). Dans les sols à texture grossière qui s'assèchent rapidement en surface, les plants ont par ailleurs plus de mal à s'établir si les semences ont été enfouies peu profondément.

Par contraste, des semis plus profonds, à 5–8 cm (2–3 po), surtout au début de la saison des semis, lorsque les sols sont froids, peuvent retarder considérablement la levée comparativement aux semis effectués à des profondeurs de 3–5 cm (1¼–2 po). Lorsque les températures du sol sont plus basses (en début de saison, les saisons fraîches, dans les champs soumis au semis direct, par exemple), et lorsque les taux d'humidité du sol sont suffisants, les producteurs peuvent chercher à enfouir les semences à une profondeur d'environ 3,75 cm (1½ po). Au fur et à mesure que la saison des semis avance et que les sols se réchauffent et s'assèchent, il faut veiller à ce que la semence de maïs soit mise en contact étroit avec du sol humide. Dans les sols secs, le fait d'enfouir la semence à des profondeurs de 7,5 cm (3 po) dans le but de mettre la semence en contact avec l'humidité est souvent moins risqué que de semer trop en surface en espérant qu'il pleuve.

Croissance du maïs

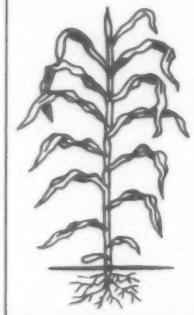
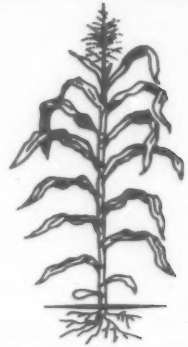
Le tableau 3–14, *Stades végétatifs du maïs*, p. 71, et le tableau 3–15, *Stades reproductifs du maïs*, p. 72, décrivent les stades de croissance végétative et les stades du cycle de reproduction du maïs.

Uniformité de la levée

Une profondeur de semis uniforme est un facteur primordial pour l'obtention d'une levée uniforme. Une levée inégale nuit au rendement de la culture, du fait que la concurrence exercée par les plants plus gros ayant levé plus tôt réduit le potentiel de rendement des plants plus petits qui ont levé plus tard (voir planche 2, p. 322). Des études indiquent que les rendements sont réduits de 5 % lorsque la levée de la moitié du peuplement est retardée de 7 jours, et de 12 % lorsqu'elle est retardée de 2 semaines.

Une bonne préparation du semoir peut être le facteur le plus déterminant pour l'uniformité de la levée. S'assurer que le semoir est de niveau et que tous les disques, les jauges de profondeur et les roues plombeuses sont conformes aux normes, qu'ils sont alignés et qu'ils fonctionnent à la bonne profondeur ou à la bonne pression. Les vérifications faites avant les semis peuvent également influencer énormément l'uniformité de la levée. Si le champ n'est pas suffisamment nivelé, si des résidus forment des accumulations par endroits ou si le sol n'a pas été ameubli uniformément, même le semoir le mieux réglé ne parviendra pas à bien travailler.

Tableau 3–14. Stades végétatifs du maïs

							
Stade	**VE**	**V1**	**V4**	**V6**	**V8**	**V12**	**VT**
Collerettes[1]	0	1	4	6	8	12	(variable)
Pointe des feuilles	1	3	7	10	11	15	—
Feuille recourbée	0	2	6	8	10	14	—
UTC requises[2]	180	330	630	780	930	1 170	1 310
Date cible[3]	16 mai	25 mai	11 juin	18 juin	26 juin	31 juin	18 juillet
Remarques	• Levée. • Compter normalement 6–21 jours pour la levée. • Une levée uniforme est essentielle pour de hauts rendements. • Une mauvaise germination peut être due à des méloïdés, aux vers fil-de-fer, aux larves de la mouche des légumineuses, aux carabes du maïs, aux limaces et aux vers-gris noirs.	• Début de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes. • Point végétatif sous terre. • Veiller à ce que l'herbicide choisi soit compatible avec le stade de la culture.	• Début de l'épiaison. • Point végétatif sous terre. • Expansion des racines coronales qui remplaceront bientôt complètement les racines séminales. • Les risques de dommages occasionnés par le ver fil-de-fer et les altises sont maintenant écartés.	• Fin de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes. • Les feuilles inférieures (1–4) s'assèchent et peuvent ne pas être visibles. • Le point végétatif se situe au niveau du sol ou au-dessus; les plants risquent de souffrir davantage du gel. • Les épis et les panicules dont la croissance est amorcée sont visibles à la dissection du plant.	• Passé ce stade, l'épandage d'azote en bandes et le sarclage des entre-rangs risquent d'endommager les racines. • Début d'une élongation rapide de la tige. • Les risques de dommages pa les limaces sont écartés.	• La culture devient de plus en plus sujette à des pertes de rendement attribuables à la chaleur ou à la sécheresse. • Ce moment est déterminant pour la grosseur de l'épi et le nombre de grains potentiels.	• Sortie de la panicule (floraison mâle). • La dissémination du pollen commence 2–3 jours avant l'apparition des soies (floraison femelle). • La viabilité du pollen est réduite par la sécheresse et des températures élevées. • Faire le dépistage du puceron du maïs, du stade adulte de la chrysomèle des racines du maïs et de la larve de la chrysomèle des racines du maïs (responsable des tiges incurvées en col de cygne).

[1] Voir la rubrique *Stades de croissance foliaire*, p. 85, pour une description des méthodes de dénombrement des feuilles de maïs.

[2] Nombre approximatif d'UTC nécessaires pour atteindre les divers stades de croissance du maïs.

[3] Date estimative où les différents stades phénologiques sont atteints en fonction de semis prévus pour le 5 mai et des accumulations à long terme d'UTC dans une région recevant en moyenne 2 800 UTC (voir les données pour Brucefield (Ontario) dans le tableau 3–7, *Accumulations saisonnières moyennes d'unités thermiques de croissance en différents points de l'Ontario*, p. 63).

Tableau 3–15. Stades reproductifs du maïs

Description	Les soies apparaissent hors des spathes à la pointe de l'épi.	Les grains sont blancs, remplis d'un liquide clair et nettement différenciés du reste de l'épi.	Les grains commencent à jaunir et le liquide qu'ils contiennent est blanc laiteux.	Le liquide-laiteux à l'intérieur des grains épaissit et devient pâteux. Les contours des grains s'affermissent. Certaines dents apparaissent.	La majorité des grains sont dentés. Une couche dure d'amidon est évidente dans le haut du grain (ligne de maturité).	Une couche dure d'amidon est évidente dans tout le grain. Un point noir se forme à la base du grain.
Stade R	**R1 – Apparition des soies**	**R2 – Gonflement**	**R3 – Stade laiteux**	**R4 – Stade pâteux**	**R5 – Dent**	**R6 – Maturité**
UTC requises[1]	1 480	1 825	2 000	2 165	2 475	2 800
Date cible[2]	20 juillet	3 août	11 août	18 août	1er sept.	18 sept.
Teneur en eau du grain	n.d.[3]	85 %	80 %	70 %	55 %	30 –35 %
Remarques	• La pollinisation nécessite 3–7 jours. • Les soies continuent de s'allonger jusqu'à ce qu'elles soient fertilisées. • À ce stade, le rendement de la culture peut être gravement compromis par des facteurs de stress environnementaux. • Commencer le dépistage des ravageurs de l'épi (ver de l'épi du maïs et légionnaire d'automne).	• Les grains commencent à stocker de la matière sèche. • Les éléments nutritifs commencent à migrer des feuilles et des tiges vers les épis. • Les feuilles inférieures peuvent rougir.	• Période de remplissage rapide du grain. • Des plants en bonne santé, du beau temps et une photosynthèse active concourent à donner des grains plus gros et un poids spécifique plus élevé.	• La partie supérieure du grain commence à durcir. • Les gelées meurtrières peuvent causer des pertes de rendement de 25–40 %. • Commencer à mesurer l'incidence de la pourriture de l'épi.	• La ligne de maturité progresse vers la base du grain au fur et à mesure que la culture parvient à maturité. • Les teneurs en eau des plantes entières conviennent à l'ensilage. • Quand la ligne de maturité est à la moitié de la hauteur du grain, le maïs a atteint 90 % de son rendement en grain. • Parcourir le champ à la recherche de signes de verse, d'affaissement des épis et de pourritures de la tige. Si de nombreux plants présentent ces problèmes, envisager de devancer la récolte.	• Maturité physiologique. • Les grains ont atteint leur poids maximal en matière sèche. • Pour se prêter au battage, les grains doivent encore perdre de l'humidité.

[1] Nombre approximatif d'UTC nécessaires pour atteindre les divers stades de croissance du maïs.

[2] Date estimative où les différents stades phénologiques sont atteints en fonction de semis prévus pour le 5 mai et des accumulations à long terme d'UTC dans une région recevant en moyenne 2 800 UTC (voir les données pour Brucefield (Ontario) au tableau 3–7, *Accumulations saisonnières moyennes d'unités thermiques de croissance en différents points de l'Ontario*, p. 63).

[3] n.d. = donnée non disponible, les grains ne s'étant pas formés après la pollinisation.

Au moment de parcourir les champs de maïs, garder ce qui suit à l'esprit :

- Des plants qui lèvent tard, de sorte qu'ils ont une ou deux feuilles de retard sur les plants avoisinants, entraîneront certainement une baisse de rendement par rapport à un peuplement offrant une levée uniforme. Les rendements obtenus pourraient même être inférieurs à ceux que procurent des plants semés plus tard mais qui ont levé uniformément.
- Il peut être très rentable d'investir dans les réglages du semoir, notamment dans l'installation de nouveaux disques ouvre-sillons, la mise à niveau du semoir ainsi que le réglage des roues plombeuses et de la jauge de profondeur.

Uniformité de l'espacement

Il paraîtrait logique de s'attendre à ce que des plants de maïs espacés à la perfection sur le rang aient de meilleures chances de fournir un rendement final optimal. L'uniformité de l'espacement peut être mesurée par l'incidence de doubles plants ou de manques, mais elle peut aussi être mesurée en termes d'écart-type. Un peuplement absolument parfait, où chaque plant est séparé de son voisin d'exactement 18 cm (7¼ po) présente un écart-type de zéro. Si l'espacement des plants varie en moyenne de 5 cm (2 po) en plus ou en moins par rapport à l'espacement voulu de 18 cm (7¼ po), l'écart-type est de 5 cm (2 po). M. Bob Nielsen (Purdue University, Indiana) a longuement étudié les effets de la variabilité de l'espacement des plants sur le rendement final. Il ressort de ses recherches que chaque tranche de 2,5 cm (1 po) d'écart-type amène une baisse de rendement de 0,16 t/ha (2½ bo/ac). Cette conclusion a été confirmée par une étude menée par Pioneer. Fait intéressant, d'après d'autres recherches, la variabilité de l'espacement n'entraînerait qu'une faible diminution de rendement, pourvu que la levée soit uniforme et que les peuplements des parcelles comparées soient identiques.

Un mauvais entretien du semoir ou des semis effectués à trop grande vitesse sont souvent identifiés comme les causes d'un manque d'uniformité au niveau de l'espacement sur le rang. Des recherches menées en Illinois (voir tableau 3–16, *Effet de la vitesse du semoir sur l'écart-type par rapport à l'espacement voulu, le peuplement et le rendement du maïs*, ci-contre) montre qu'avec des semoirs bien entretenus, la vitesse élevée d'avancement du semoir et les légères variations dans l'uniformité de l'espacement n'ont aucune influence sur le rendement.

Tableau 3–16.
Effet de la vitesse du semoir sur l'écart-type par rapport à l'espacement voulu, le peuplement et le rendement du maïs[1]

Vitesse d'avancement du semoir	Écart-type	Densité de peuplement	Rendement
5 km/h (3 mi/h)	7,29 cm (2,87 po)	67 261 plants/ha (27 231 plants/ac)	9,57 t/ha (152,5 bo/ac)
8 km/h (5 mi/h)	7,59 cm (2,99 po)	67 611 plants/ha (27 373 plants/ac)	9,55 t/ha (152,2 bo/ac)
11 km/h (7 mi/h)	8,18 cm (3,22 po)	66 680 plants/ha (26 996 plants/ac)	9,60 t/ha (153,1 bo/ac)

Source : E. Nafziger, University of Illinois, et H. Brown, Pioneer Hi-Bred International Inc.

[1] Moyenne établie à partir de 11 essais menés en Illinois de 1994 à 1996.

Écartement des rangs

Rangs rapprochés

Déjà au milieu des années 1990, des recherches menées en différents points de la ceinture septentrionale de maïs et dans le sud de l'Ontario indiquaient que des gains de rendement substantiels pouvaient être tirés de la culture du maïs en rangs plus rapprochés que les rangs traditionnels, c.-à-d. en ramenant l'écartement des rangs de 76–96 cm (30–38 po) à 38–60 cm (15–24 po). Il ressort de ces recherches que les avantages liés à des rangs rapprochés seraient plus grands sous des latitudes plus nordiques, si on les compare aux résultats provenant de parties situées au milieu et au sud de la ceinture de maïs. Les producteurs de l'Ontario qui ont adopté la culture en rangs rapprochés sont passés pour la plupart à des rangs écartés de 50 cm (20 po) et prévoyaient que des hausses de rendement de 3–8 % permettraient de compenser pour les modifications apportées au semoir et à la tête à maïs. Plus récemment, des études menées en Ontario par l'Université de Guelph et Pioneer Hi-Bred International Inc. révèlent qu'il y a peu d'avantages, sinon aucun, sur le plan du rendement à opter pour des rangs écartés de 38 cm (15 po) ou de 50 cm (20 po) comparativement à des rangs de 76 cm (30 po). La principale raison pouvant justifier d'opter pour des rangs plus rapprochés est d'améliorer l'interception de la lumière. Il semble que l'interception totale de la lumière une fois que le feuillage est entièrement développé ne soit pas plus grande dans les rangs rapprochés que dans les rangs larges. L'avantage sur le plan du rendement, s'il y en a un, à opter pour des rangs rapprochés, doit

absolument venir d'une fermeture plus rapide du couvert végétal et d'une plus grande interception de la lumière de la fin juin au début juillet.

Aucune recherche n'a par ailleurs permis d'identifier des hybrides précis qui seraient particulièrement adaptés à la culture en rangs rapprochés. Des densités de peuplement élevées conjuguées à des rangs rapprochés se traduisaient souvent par des hausses de rendement, mais ces gains de rendement étaient également enregistrés avec les écartements traditionnels. Les améliorations de rendement peuvent être sporadiques et la justification des coûts de la modification de la machinerie peut dépendre d'autres facteurs, comme la possibilité d'utiliser un semoir en rangs étroits pour d'autres cultures (les haricots comestibles, par exemple), la superficie ensemencée et le coût des modifications apportées à la machinerie. Les risques de pourritures de la tige sont plus élevés lorsque les rangs sont rapprochés.

Reprise des semis

Il n'existe pas de formule simple permettant de faciliter les décisions concernant la reprise des semis. Chaque cas doit être abordé individuellement. Afin de décider de la pertinence de reprendre les semis, il faut tenir compte de données telles que la première date de semis, la densité de peuplement visée, le peuplement effectif, l'uniformité de la taille et de la distribution des plants endommagés, la date possible de la reprise des semis et le coût de l'opération (semences, fongicides/insecticides, carburant, etc.).

Il est possible d'évaluer le peuplement effectif en comptant le nombre de plants sur une longueur de rangs équivalente à un millième de un acre (voir tableau 1-2, *Longueur de rang nécessaire pour obtenir un millième de un acre selon la largeur des rangs*, p. 3). Il faut répéter cet exercice au moins cinq fois sur 10 hectares (25 acres), à des endroits différents dans le champ. Il reste ensuite à calculer la moyenne des échantillons, puis à la multiplier par 1 000.

Il est important, au moment d'évaluer la densité de peuplement, de prêter attention à l'uniformité des plants, ainsi qu'à leur taille et à leur distribution sur le rang. Ces facteurs sont-ils uniformes? Le rendement peut se trouver réduit de 2 % si le peuplement compte plusieurs manques de 30 à 90 cm (12 à 36 po). Si les manques sont plus longs de 1,25-2 m (4-6 pi), il faut s'attendre à une réduction du rendement de 5 à 6 % comparativement à un peuplement uniforme. Plus les manques sont nombreux et longs sur le rang, plus les rendements seront réduits.

Le tableau 3-17, *Rendement en grain prévu selon les dates de semis et les densités de peuplement*, p. 75, peut servir de point de départ à la prise de décision. Le tableau précise l'incidence de la date de semis et de la densité du peuplement sur le rendement final. Les rendements sont établis en fonction de peuplements normaux en termes d'uniformité de la taille et de la distribution des plants. Les rendements correspondant à diverses dates de semis et à diverses densités de peuplement sont exprimés en pourcentage du rendement obtenu pour des semis réalisés à la date de semis optimale et à raison d'une densité de peuplement optimale de 64 200-76 200 plants/ha (26 000-30 000 plants/ac). Les résultats varient selon l'endroit, les conditions du milieu, l'hybride utilisé et d'autres facteurs.

La disponibilité d'hybrides hâtifs offrant de bons rendements ainsi que les coûts de reprise des semis ont une influence sur la décision de reprendre les semis. Il faut vérifier si le programme d'utilisation des herbicides permet le passage au soya et, dans la négative, si une nouvelle pulvérisation d'herbicide pour le maïs est nécessaire. Quel est l'état du reste de la culture? Avant de reprendre les semis, il faut juger si les conditions qui ont provoqué le problème au départ existent toujours (conditions du sol, maladie, insectes, blessures causées par les herbicides). Si le problème est attribuable aux insectes ou à la maladie, il faut tenir compte des coûts d'un traitement insecticide ou fongicide.

Engrais pour le maïs

Azote

Comme le maïs réagit bien à l'azote, le sol doit absolument renfermer une quantité suffisante d'azote assimilable si l'on veut que la culture soit rentable. Toutefois, une quantité superflue d'azote constitue une dépense inutile et augmente les risques de pollution de l'eau souterraine par les nitrates.

Le jaunissement progressif des feuilles inférieures depuis la pointe en descendant le long de la nervure principale est révélateur d'une carence en azote (voir planche 1, p. 321, et planche 5, p. 322). Tôt ou tard, les zones jaunes brunissent et meurent.

Chez les jeunes plants toutefois, des pertes de rendement surviennent bien avant que les symptômes de carence ne se manifestent, de telle sorte que le jaunissement n'est pas un indicateur fiable de la nécessité d'appliquer un engrais azoté.

Deux méthodes peuvent servir à établir le taux de fertilisation optimal : l'analyse de la teneur du sol en

Tableau 3–17.
Rendement en grain prévu selon les dates de semis et les densités de peuplement

Date de semis	Densité de peuplement								
	25 000 /ha 10 000/ac	31 000/ha 12 500/ac	37 000/ha 15 000/ac	43 000/ha 17 500/ac	49 000/ha 20 000/ac	56 000/ha 22 500/ac	62 000/ha 25 000/ac	68 000/ha 27 500/ac	74 000/ha 30 000/ac
20 avril	62	70	78	82	86	90	92	94	94
25 avril	65	73	79	84	89	92	95	97	97
30 avril	67	74	81	86	91	94	97	98	99
4 mai	68	75	82	87	92	95	98	99	100
9 mai	68	75	82	87	92	95	98	99	100
14 mai	67	75	81	86	91	94	97	99	98
19 mai	65	73	79	85	89	93	95	97	97
24 mai	63	70	76	82	86	90	92	94	95
29 mai	59	68	73	78	83	86	89	90	91
3 juin	54	62	68	74	78	82	84	86	86
8 juin	49	56	63	68	73	76	79	80	81

Adaptation de données provenant de la University of Illinois. E.D. Nafziger. 1994. *Journal of Production Agriculture*. Les données initiales applicables à l'Illinois ont été repoussées de 10 jours pour refléter les dates de semis optimales en Ontario.
Exemple : Un champ est ensemencé le 4 mai à raison d'une densité de peuplement prévue de 62 000 plants/ha (25 000 plants/ac). À la fin du mois, le peuplement est réduit à 31 000 plants/ha (12 500 plants/ac), mais la distribution des plants et leur taille sont uniformes. Le tableau indique que le rendement auquel on peut s'attendre d'un peuplement final de 31 000 plants semés le 4 mai correspond à 75 % du peuplement visé au départ (soit une réduction de 50 % par rapport au peuplement visé initialement). En repoussant les semis jusqu'au 20 mai, à raison de la même densité de peuplement (62 000 plants), le rendement prévisible grimpe à 89 %, ce qui permet de récupérer les coûts de reprise des semis, qui se trouve alors justifiée. Si la date de semis ou la densité de peuplement ne correspondent pas aux données du tableau, il s'agit d'interpoler.

azote des nitrates et les recommandations générales fondées sur le rendement et l'endroit, rajustées en fonction des cultures de légumineuses et des apports de fumier ou d'autres sources d'azote des nitrates.

> Il est fréquent d'observer des symptômes de carence en azote sur les feuilles inférieures au fur et à mesure que les plants approchent de la maturité, même si le sol renferme une concentration d'azote compatible avec un rendement optimal.

Teneur du sol en azote des nitrates

L'aptitude des sols à rendre l'azote biodisponible est très variable. Les concentrations d'azote des nitrates dans le sol au moment du semis s'avèrent un bon indice de la capacité du sol à fournir de l'azote aux plantes. On devrait avoir recours à l'analyse de sol pour évaluer la teneur en azote des nitrates, afin d'utiliser l'azote plus efficacement et de façon plus profitable, tout en réduisant le risque de contamination de l'eau souterraine par les nitrates.

Époque de l'échantillonnage

Les recommandations relatives aux apports d'azote reposent sur l'analyse de la teneur en azote des nitrates d'échantillons qui ont été prélevés dans les 5 jours qui précèdent ou suivent les semis. Souvent, il ne s'agit pas là d'un moment où il est pratique d'effectuer le prélèvement des échantillons, sans compter que les variations climatiques saisonnières peuvent alors modifier profondément les analyses de sol (voir la rubrique *Faire preuve de jugement*, p. 76). Pour ces raisons, il est de plus en plus fréquent que les échantillons soient prélevés lorsque le maïs a atteint 15–30 cm (6–12 po) de hauteur, avant l'épandage de l'azote en bandes latérales. Cette technique s'appelle l'analyse de l'azote des nitrates avant l'épandage en bandes.

En reportant ainsi l'échantillonnage après la saison de pointe des semis, le producteur peut consacrer plus de temps à l'échantillonnage et a plus de temps devant lui pour recevoir les résultats du laboratoire. En outre, il est de plus en plus évident que les recommandations relatives à l'azote fondées sur des prélèvements effectués à cette date plus tardive sont meilleures que celles qui sont fondées sur les prélèvements effectués au moment des semis. Cela est

particulièrement vrai lorsque le système cultural comprend des sources d'azote organique comme du fumier ou des légumineuses. Les échantillons prélevés en juin selon la technique de l'analyse de l'azote des nitrates avant l'épandage en bandes révèlent les concentrations de nitrates qui se sont minéralisées à partir de ces sources organiques et reflètent avec plus de justesse l'azote total assimilable et les besoins en engrais azoté.

Prélèvement des échantillons

Vu la grande mobilité des nitrates, comparativement à celle du phosphore ou du potassium, les analyses portant sur la teneur du sol en azote des nitrates obligent à prélever un échantillon séparément et en profondeur. On devrait prélever les échantillons à 30 cm (12 po). Il est indispensable que toutes les carottes de terre prélevées dans un champ quelconque soient prises à la même profondeur et que cette profondeur soit précisée sur la feuille de renseignements accompagnant l'échantillon expédié au laboratoire.

Pour que l'échantillon soit représentatif du champ, utiliser un schéma d'échantillonnage semblable à celui qui est proposé à la rubrique *Prélèvement des échantillons*, p. 34. Comme les variations de la teneur du sol en nitrate peuvent influer fortement sur les recommandations relatives aux engrais azotés, le producteur peut avoir intérêt à prélever un plus grand nombre d'échantillons pour l'azote que pour le phosphore ou le potassium. Il peut prélever des échantillons distincts aux endroits ayant fait l'objet d'une gestion différente dans le passé et séparer les prélèvements provenant de collines de ceux provenant de dépressions. Il lui faut par ailleurs échantillonner à part les zones du champ qui présentent différents types de sol

Manipulation des échantillons

Les carottes doivent être déposées dans un seau de plastique propre, puis défaites à la main et bien mélangées. Prélever environ 500 g (1 lb) de terre et les placer dans un sac de plastique propre ou dans une boîte à échantillons.

Une mauvaise manipulation peut stimuler l'activité microbienne dans l'échantillon, laquelle entraîne une modification rapide de sa teneur en nitrates. Pour cette raison, il faut refroidir ou congeler les échantillons aussitôt que possible et les emballer dans un matériau isolant avant de les expédier au laboratoire. Utiliser une service de messagerie afin de garantir une livraison rapide au laboratoire.

Les échantillons peuvent aussi être séchés à l'air. Il suffit d'étendre la terre en une mince couche, sur une pellicule de plastique propre, en prenant soin de bien défaire toutes les grosses mottes. Après 1 ou 2 jours, l'échantillon sera sec et prêt à expédier sans autre mesure particulière. Il ne faut pas faire sécher les échantillons au four, car la chaleur pourrait en modifier la teneur en nitrates.

Faire preuve de jugement

Parfois, il faut adapter la quantité d'engrais à épandre que recommande le rapport de l'analyse sur la teneur du sol en azote des nitrates.

Il faudra adapter les recommandations dans le cas, par exemple, où de l'azote a été épandu sous forme de fumier ou enfoui comme engrais vert peu de temps avant le prélèvement des échantillons, puisque cet azote n'a pas encore été transformé en nitrates et ne peut donc pas être décelé par l'analyse. Le rapport d'analyse informe le producteur sur les correctifs nécessaires.

L'analyse de sol portant sur la teneur en azote des nitrates manque d'exactitude dans les cas suivants :

- Enfouissement de légumineuses ou de fumier en automne ou tard en été;
- Utilisation de légumineuses dans le cadre d'un système de semis direct;
- Prélèvement des échantillons avant que le sol ne se soit suffisamment réchauffé (p. ex., deux dernières semaines d'avril).

Dans chacune des situations qui précèdent, il faut faire preuve de jugement avant d'appliquer les recommandations du rapport d'analyse.

Le tableau 3–18, *Doses d'azote recommandées selon la quantité d'azote des nitrates*, p. 77, montre les doses d'azote recommandées pour les différentes teneurs du sol en azote des nitrates qu'a révélées l'analyse d'échantillons prélevés à une profondeur de 30 cm (12 po). Les doses recommandées se rapportent à une situation où le ratio du coût de l'azote au prix du maïs est égal à 5. (Pour des explications sur ce ratio, voir la rubrique *Ratio coût de l'azote/prix du maïs*, p. 77. Si le ratio du coût passe à 7 (soit que le prix de l'engrais a monté ou que le prix du maïs a baissé), réduire les doses recommandées de 20 kg/ha par rapport aux doses dans cette table. Si le ratio du coût tombe à 3, augmenter les doses de 30 kg/ha.

Diminuer les doses si la culture précédente était une pelouse de légumineuses (voir tableau 2–15, *Réduction des besoins d'azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, p. 42). Si du fumier a

Tableau 3–18.
Doses d'azote recommandées selon la quantité d'azote des nitrates

Azote des nitrates au printemps[1] dans les 30 premiers cm (1 pi) de sol	Azote des nitrates avant épandage en bandes[2] dans les 30 premiers cm (1 pi) de sol	Azote élémentaire recommandé	
(ppm)	(ppm)	(kg/ha)	(lb/ac)
1	1	211	189
2	3	199	178
3	4	186	166
4	5	173	155
5	7	161	144
6	8	148	132
7	9	135	121
8	10	123	110
9	12	110	98
10	13	97	87
11	14	85	76
12	16	72	64
13	17	59	53
14	18	47	42
15	20	34	30
16	21	21	19
17	22	9	8
18	23	0	0

Facteurs de conversion
Pour convertir les kg/ha en ppm pour un échantillon prélevé à 30 cm (12 po), diviser les kg/ha par 4.
Par exemple, si la teneur en azote des nitrates d'un échantillon pris dans les 30 premiers cm (12 po) de sol est de 32 kg/ha, l'azote des nitrates est de 32 kg/ha ÷ 4 = 8 ppm.

[1] Azote des nitrates au printemps : renvoie aux échantillons prélevés dans les 5 jours avant ou après les semis.

[2] Azote des nitrates avant l'épandage en bandes : renvoie aux échantillons prélevés lorsque le maïs atteint 15–30 cm (6–12 po) de hauteur (habituellement dans les deux premières semaines de juin).

été épandu, voir le tableau 2–16, *Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques*, p. 43.

Laboratoires

Voir à l'annexe B, *Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario*, p. 303, la liste des laboratoires accrédités pour effectuer les analyses de la teneur en azote des nitrates des échantillons de sol.

Ratio coût de l'azote/prix du maïs

La relation entre le prix du maïs et le coût de l'azote, qu'on exprime en bref par le « ratio azote/maïs », constitue un facteur déterminant en ce qui a trait à la dose de fertilisation azotée la plus profitable. On obtient ce ratio en divisant le coût de la fertilisation azotée (en dollars par kilogramme d'azote élémentaire épandu) par le prix qu'on prévoit obtenir en vendant le maïs (en dollars par kilo de maïs-grain).

a) Pour déterminer le coût de fertilisation par kilo d'azote élémentaire, diviser le coût d'une tonne d'engrais par 10 fois la concentration d'azote (exprimée en %) dans l'engrais. Il faut inclure les frais d'épandage ou d'application dans le calcul.

$$\text{Coût de N/kg} = \frac{\text{Coût de l'engrais par tonne}}{10 \times (\text{\% d'azote dans l'engrais})}$$

b) Pour trouver le prix de vente du maïs par kilo, diviser par 1000 son prix de vente à la tonne. Inclure tous les paiements anticipés remis au producteur en vertu des programmes de stabilisation et d'assurance du revenu de marché.

c) Pour évaluer le ratio azote/maïs, il suffit de diviser le coût au kilogramme de la fertilisation azotée par le prix de vente au kilogramme du maïs.

$$\text{Ratio azote/maïs} = \frac{\text{Coût de N/kg}}{\text{Prix du maïs/kg}}$$

Les recommandations du tableau 3–18, *Doses d'azote recommandées selon la quantité d'azote des nitrates*, p. 77, et du tableau 3–19, *Doses d'azote généralement recommandées pour une monoculture de maïs*, p. 78, sont fondées sur un ratio azote/maïs de 5 (c.-à-d. un coût d'azote évalué à 0,65 $/kg d'azote élémentaire et un prix de vente du maïs égal à 0,13 $/kg, soit 130 $/t).

Recommandations générales

À défaut d'une analyse de sol permettant de connaître la teneur en azote des nitrates, on peut utiliser les recommandations générales présentées au tableau 3–19, *Doses d'azote généralement recommandées pour une monoculture de maïs*, p. 78, lesquelles sont faites pour différentes régions de l'Ontario et en prévision d'un rendement précis – c.-à-d. ce qu'on peut s'attendre à récolter sur toute ferme au cours d'une année normale, compte tenu de l'expérience passée. On peut réduire les doses d'azote à la suite de certaines cultures (voir le tableau 3–20, *Doses d'azote recommandées pour le maïs compris dans une rotation*, p. 78). Il faudra également rajuster la dose si la culture précédente se composait de légumineuses (voir le tableau 2–15, *Réduction des besoins d'azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, p. 42) ou si l'on a épandu du fumier (voir le

Tableau 3–19.
Doses d'azote généralement recommandées pour une monoculture de maïs

Région	Rendement en grain prévu (t/ha)					
	6	7	8	9	10	11
	Dose d'azote la plus profitable (kg de N/ha)					
Est	90	110	130	155	175	200
Ouest et centre	100	110	120	125	135	140
Sud-ouest (en présemis)	160	175	185	190	200	210
Sud-ouest (épandage en bandes)	140	145	150	155	160	165

100 kg/ha = 90 lb/ac; 1 t/ha = 16 bo/ac

tableau 2–16, *Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques*, p. 43).

Exemple de calcul
Pour un rendement en maïs-grain de 7 t/ha (112 bo/ac) dans un champ de l'ouest de l'Ontario, les recommandations d'azote seront de 110 kg/ha (voir le tableau 3–19, *Doses d'azote généralement recommandées pour une monoculture de maïs*, ci-dessus). Si les analyses de sol révèlent une teneur de 11 ppm pour le phosphore et de 110 ppm pour le potassium, on recommandera l'épandage de 50 kg de phosphate et de 30 kg de potasse par hectare (voir le tableau 3–21, *Doses de phosphate et de potasse recommandées pour le maïs d'après les analyses reconnues par le MAAARO*, p. 79). Le phosphate peut être fourni par 160 kg d'engrais 8-32-16 (50 x 100/32 = 160) par hectare. Cet amendement fournirait en même temps, 12 kg d'azote et 25 kg de potasse par hectare. On pourrait fournir les 98 kg d'azote par hectare restants en ajoutant 120 kg d'ammoniac anhydre (98 x 100/82 = 120) par hectare.

Application de l'azote

La plus grande partie de l'azote doit être épandue au printemps, en présemis, en prélevée ou en bandes avant que le maïs n'atteigne 30 cm (12 po). Les épandages d'automne sont déconseillés à cause du risque de pertes importantes qu'ils comportent.

Une portion de l'azote peut être épandu en bandes au moment des semis. À proximité des semences, prendre soin de ne pas dépasser la dose prudente d'engrais. S'il faut appliquer des doses élevées d'azote au moment des semis, placer l'azote dans une bande distincte de celle de l'engrais de démarrage à haute teneur en phosphate à une distance de la raie supérieure à 10 cm (4 po).

Tableau 3–20.
Doses d'azote recommandées pour le maïs compris dans une rotation

Rotation	Réduction par rapport à la dose de N indiquée dans le tableau 3–19 (en kg de N/ha)	
	Sud-ouest de l'Ontario	Ouest, centre et est de l'Ontario
Maïs après soya ou haricots de grande culture	15	30
Maïs après maïs d'ensilage	0	10
Maïs après céréales (paille enlevée)	0	10

Dans le sud-ouest de l'Ontario, les épandages en bandes ont montré une légère augmentation du rendement comparativement aux épandages au présemis. L'ammoniac anhydre a donné des rendements de 3 à 5 % supérieurs à ceux obtenus avec l'urée ou le nitrate d'ammonium. Dans le reste de la province, il n'y a pas eu d'augmentation de rendement pour les applications en bandes, ni de différence de rendement attribuable aux divers engrais azotés.

On peut épandre en surface les formes solides d'azote ou les solutions de nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) sans les incorporer au sol. Cependant, l'urée et le NAU épandus sur des résidus doivent être incorporés dans le sol immédiatement. L'urée ou le NAU qui est laissé à la surface du sol peut laisser s'échapper une quantité importante d'azote dans l'air par la volatilisation de l'ammoniac. Par temps sec, l'efficacité de toutes les formes d'azote est meilleure après incorporation. Le contact de solutions de NAU avec les feuilles risque de causer la brûlure de ces tissus et des réductions de rendement.

L'ammoniac anhydre injecté avec du matériel traditionnel doit être placé à au moins 15 cm (6 po) de profondeur. Dans le cas d'injections en présemis, les distributeurs ne doivent pas être espacés de plus de 50 cm (20 po). Pour des espacements supérieurs, il est recommandé d'attendre 4 jours avant les semis pour éviter d'endommager les plantules.

Quand on utilise l'outillage approprié, on peut appliquer l'ammoniac avec un cultivateur ou un pulvériseur à disques à une profondeur d'au moins 10 cm (4 po) en espaçant les distributeurs d'au plus 50 cm (20 po).

Tableau 3–21.
Doses de phosphate et de potasse recommandées pour le maïs d'après les analyses reconnues par le MAAARO

Teneur en phosphore (ppm) évaluée au bicarbonate de sodium	Cote	Phosphate (P_2O_5)[1] à appliquer (kg/ha)	Teneur en potassium (ppm) évaluée à l'acétate d'ammonium	Cote	Potasse (K_2O)[1] à appliquer (kg/ha)
0–3	BASSE	110	0–15	BASSE	170
4–5		100	16–30		160
6–7		90	31–45		140
8–9		70	46–60		110
10–12	MOYENNE	50	61–80	MOYENNE	80
13–15		20	81–100		50
16–20		20	101–120		30
21–30	HAUTE	20	121–150	HAUTE	0
31–60	TRÈS HAUTE	0	151–250	TRÈS HAUTE	0
61+	EXCESSIVE[2]	0	251+	EXCESSIVE[2]	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Si on utilise du fumier, réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir le tableau 2–16, *Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques*, p. 43).

[2] Quand la teneur du sol est qualifiée d'excessive pour un élément nutritif quelconque, l'utilisation de cet élément dans des engrais ou du fumier risque de réduire les rendements ou la qualité des cultures. Par exemple, l'épandage de phosphate peut provoquer une carence en zinc dans les sols pauvres en zinc et peut accroître les risques de pollution des eaux. L'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.

Phosphate et potasse

Des concentrations suffisantes de phosphore et de potassium sont nécessaires pour une croissance et un rendement optimaux du maïs, même si la réaction à ces éléments nutritifs n'est pas aussi évidente que la réaction à l'azote. Une carence en phosphore ne s'accompagne pas de symptômes évidents, même si les plants carencés en phosphore semblent rabougris et peuvent présenter une couleur vert foncé ou violacée (voir planche 1, p. 321). Des feuilles violacées peuvent aussi être une indication d'un stress occasionné par du temps frais ou des blessures aux racines (voir planche 3, p. 322). Les carences en potassium se manifestent d'abord sur les feuilles inférieures du plant par le jaunissement et le brunissement de la pointe, puis des pourtours des feuilles (voir planche 1, p. 321, et planche 4, p. 322). Les rendements peuvent souffrir d'une carence en l'un ou l'autre de ces éléments nutritifs ou les deux, même en l'absence de tout symptôme visible.

Le tableau 3–21, *Doses de phosphate et de potasse recommandées pour le maïs d'après les analyses reconnues par le MAAARO*, ci-dessus, présente les recommandations relatives aux apports de phosphate et de potasse dans les cultures de maïs.

Pour de l'information sur l'utilisation de ce tableau ou en l'absence d'une analyse de sol recommandée par le MAAARO, voir la rubrique *Recommandations d'engrais*, p. 36.

Lorsque les analyses de sol indiquent une carence importante en phosphore et en potassium, la plus grande partie de ces éléments nutritifs peut être épandue à la volée et incorporée au sol, à l'automne ou au printemps. Toutefois, dès que les analyses de sol font ressortir un besoin en ces éléments nutritifs, il faudrait utiliser comme engrais de démarrage, au moment du semis, un engrais contenant soit de l'azote (idéalement sous forme ammoniacale) et du phosphore, soit de l'azote, du phosphore et du potassium. Tout le phosphore et une partie du potassium peuvent être épandus en bandes de 5 cm (2 po), à 5 cm (2 po) sous la semence. (Voir le tableau 2–30, *Doses maximales sûres des éléments fertilisants*, p. 54).

Fertilisation au moment du semis

Des essais sur le terrain menés pendant plusieurs années ont démontré qu'une application de 10 à 15 kg de P_2O_5/ha (9 à 13 lb de P_2O_5/ac) au moment du semis procure de meilleurs rendements qu'un épandage en bandes latérales de 20 kg de P_2O_5/ha (18 lb de P_2O_5/ac). Si l'analyse de sol révèle des teneurs de 13 à 45 pour le phosphore, il est probable qu'une application au semis soit plus profitable qu'un épandage en bandes latérales. Lorsque l'analyse révèle une teneur en phosphore inférieure à 13, l'application de 10 à 15 kg de P_2O_5/ha (9 à 13 lb de P_2O_5/ac) avec les semences peut aussi être bénéfique, mais elle ne saurait remplacer un apport supplémentaire de phosphore par un épandage en bandes ou de pleine surface.

Les engrais qui accompagnent les semences doivent contenir de l'azote (sous forme ammoniacale), doivent avoir une faible teneur en sel et ne contenir ni urée, ni phosphate diammonique (voir le tableau 2–30, *Doses maximales sûres des éléments fertilisants*, p. 54). Ces engrais doivent de plus être épandus uniformément pour ne pas être toxiques aux semences en germination. L'application de plus de 15 kg de P_2O_5/ha (13 lb de P_2O_5/ac) au moment du semis (dans des rangées de 75 cm (30 po)) est déconseillée.

Doses maximales sûres d'éléments fertilisants

Une culture de maïs recevant trop d'engrais risque de souffrir d'un excès de sels ou d'ammoniac. Plus l'engrais est concentré et plus il est proche de la semence, plus les risques de dommages sont grands et plus la dose maximale sûre est faible. Le tableau 2–30, p. 54, indique quelles sont les doses maximales sûres à observer. Même à ces doses, il peut se produire de légères diminutions de rendement et de légers ralentissements de croissance si la culture est soumise à un stress.

Oligo-éléments et éléments nutritifs secondaires

Magnésium

Bien que le magnésium soit abondant dans la plupart des sols en Ontario, des carences en cet élément peuvent se produire dans les sols sableux ou acides. L'apparition de bandes jaunes sur les feuilles inférieures constitue le premier symptôme (voir planche 1, p. 321 et planche 6, p. 322). À mesure que la carence s'aggrave, les feuilles supérieures peuvent présenter des bandes jaunes, tandis que les feuilles inférieures deviennent rouge violacé.

Dans tous les échantillons de sol soumis à un test reconnu par le MAAARO, on évalue la teneur en magnésium. Les résultats fournissent une indication fiable de la quantité de magnésium à appliquer.

La chaux dolomitique est une excellente source de magnésium. On devrait l'utiliser sur les sols qui se révèlent à la fois trop acides et déficients en magnésium (test inférieur à 100 ppm). Pour plus d'information, voir la fiche technique du MAAARO, *Acidité des sols et chaulage*, commande n° 91-082 ou visiter le site Web suivant : www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/index.html.

Il arrive que certains sols ne nécessitent aucun amendement calcaire, mais qu'ils aient besoin de magnésium. Un apport en magnésium n'est recommandé que si l'analyse de sol révèle une teneur inférieure à 20 ppm. Sur ces sols, le magnésium peut être appliqué sous forme de sulfate ou, si une application de potassium s'avère également nécessaire, sous forme de sulfate de magnésie potassique. Appliquer 30 kg de magnésium hydrosoluble/ha (27 lb/ac).

Une surdose de potassium peut amener des carences en magnésium. Pour cette raison, il est important de bien vérifier la teneur du sol en potassium et de s'en tenir aux doses de potasse recommandées dans les rapports d'analyses reconnues par le MAAARO.

Soufre

Aucune carence en soufre n'a jamais été observée dans les cultures de maïs en Ontario. Les régions de culture du maïs de la province reçoivent suffisamment de soufre sous forme de précipitations acides.

Zinc

Des carences en zinc se produisent dans le maïs en Ontario. Si l'observation des symptômes sur les feuilles (voir planche 7, p. 322) constitue le meilleur moyen de déceler un carence en zinc, une analyse de sol n'en demeure pas moins révélatrice. Une carence en zinc apparaît habituellement sous la forme d'une large bande blanche près de la base des jeunes feuilles de maïs. Si les carences sont graves, la feuille en entier dans le cornet blanchit (on parle alors de « bourgeon blanc »). À moins que la carence ne soit très marquée, il ne faudrait pas s'attendre à une réponse manifeste de la culture à la suite d'un apport en zinc.

Lorsqu'un apport de zinc est nécessaire, celui-ci peut être mélangé avec les engrais et appliqué à raison de 4 à 14 kg/ha (3,5 à 12,5 lb/ac). La dose supérieure devrait suffire pour 3 ans. Si on applique le zinc en

bandes au semis, il ne faut pas en épandre plus de 4 kg/ha. L'apport de zinc peut aussi être fait par pulvérisation foliaire à raison de 60 g/100 litres de solution ($^{6}/_{10}$ lb/100 gal). Il faut utiliser un agent mouillant et continuer la pulvérisation jusqu'à ce que les feuilles soient bien mouillées. Pour plus d'information, voir la rubrique *Oligo-éléments*, p. 40.

Manganèse

Les carences en manganèse sont rares dans le maïs, bien qu'on en signale quelques cas sur des terres noires pourvues d'un pH élevé dans le sud-ouest de l'Ontario. Le maïs est beaucoup plus tolérant aux faibles concentrations de manganèse que le soya ou les céréales. Dans le maïs, une carence en manganèse se manifeste par une coloration vert olive des feuilles, accompagnée parfois de rayures à peine perceptibles. Des pulvérisations foliaires de manganèse constituent le moyen le plus efficace de corriger une carence.

Remédier à la carence dès qu'elle est découverte en pulvérisant sur le feuillage 2 kg de manganèse élémentaire/ha à partir de sulfate de manganèse (à raison de 8 kg de sulfate de manganèse/ha) dans 200 L d'eau. Il est recommandé d'ajouter un mouillant-adhésif à la bouillie. Si la carence est grave, une deuxième pulvérisation peut être bénéfique. Au moment d'appliquer des oligo-éléments, prendre soin de nettoyer d'abord le réservoir du pulvérisateur s'il a servi à des traitements herbicides.

Autres oligo-éléments

Les autres oligo-éléments sont peu susceptibles de faire l'objet d'une carence dans le maïs en Ontario. Certains oligo-éléments, dont le bore, peuvent être toxiques s'ils sont appliqués sur le maïs, particulièrement s'ils sont appliqués en bandes ou à même l'engrais de démarrage (Pop-up ou autre).

Analyse des tissus végétaux

Dans le cas du maïs, le stade de croissance le plus propice à l'échantillonnage des tissus varie selon l'élément nutritif visé. Pour la plupart des éléments nutritifs, il vaut mieux prélever les échantillons dans le tiers central de la feuille opposée à l'épi, au moment de l'apparition des soies. Se référer au tableau 3–22, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le maïs*, ci-contre. Dans le cas du phosphore et du zinc, par contre, il vaut mieux échantillonner le plant en entier lorsque 5–6 feuilles sont visibles.

Tableau 3–22.
Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le maïs

Élément fertilisant	Unité	Concentration critique[1]	Concentration normale maximale[2]
Jeunes plants de maïs (5–6 feuilles)			
Phosphore	%	0,35	0,70
Zinc	ppm	20,0	70,0
Apparition des soies (tiers central de la feuille opposée à l'épi)			
Azote (N)	%	2,5	3,5
Phosphore (P)	%	0,28	0,50
Potassium (K)	%	1,2	2,5
Calcium (Ca)	%	—	1,5
Magnésium (Mg)	%	0,10	0,60
Soufre (S)	%	0,14	—
Bore (B)	ppm	2,0	25,0
Cuivre (Cu)	ppm	2,0	20,0
Manganèse (Mn)	ppm	15,0	150,0
Zinc (Zn)	ppm	20,0	70,0

[1] Une baisse de rendement due à une carence en un élément nutritif est à prévoir lorsque la concentration de l'élément nutritif tombe au niveau critique ou sous celui-ci.

[2] Les concentrations normales maximales sont plus que suffisantes mais ne causent pas nécessairement de toxicité.

Les plants soupçonnés d'avoir une carence en éléments nutritifs doivent être échantillonnés aussitôt que le problème se manifeste. Pour les plants qui ont 6 feuilles et moins, échantillonner le plant en entier dans sa partie hors du sol. Pour les plants qui ont plus de 6 feuilles, mais qui n'ont pas encore formé leurs soies, échantillonner la plus jeune feuille entièrement développée. À des fins de comparaison, prélever des échantillons distincts provenant d'endroits qui présentent des symptômes et d'endroits qui ne présentent aucun symptôme. En ce qui a trait à l'échantillonnage qui se fait à tout autre moment qu'à l'apparition des soies, les échantillons doivent être prélevés à la fois des zones carencées et des zones saines du champ afin que des comparaisons puissent être établies.

L'échantillon de tissu végétal doit être accompagné d'un échantillon de sol prélevé au même endroit et en même temps.

Pour plus d'information sur ce sujet, voir la rubrique *Analyse des tissus végétaux*, p. 35.

Fertilisation foliaire

Dans le maïs, les pulvérisations foliaires d'éléments nutritifs donnent généralement peu de résultats. Les doses d'éléments nutritifs ne peuvent être appliquées par pulvérisation foliaire sans endommager les feuilles, sauf si les applications sont fractionnées en de multiples petites doses (voir planche 8, p. 323). Fait exception à cette règle, la correction de certaines carences en oligo-éléments, mais même dans ce cas, il est souvent plus économique d'appliquer l'élément nutritif au sol.

Récolte du maïs

La maturité physiologique (point noir) se produit lorsque la teneur en eau du grain tombe à environ 31–33 %. Passé ce stade, aucune matière sèche ne s'ajoute au grain de maïs. La récolte du maïs-grain à des teneurs en eau supérieures à 28 % entraîne souvent des dommages considérables au grain et rend plus difficile sa commercialisation. Les marchés qui exigent des aliments appartenant à des catégories de haute qualité peuvent exiger que le maïs soit récolté à des teneurs en eau aussi basses que 20–22 %.

Les producteurs doivent se demander s'il est réellement avantageux de retarder la récolte dans l'espoir d'abaisser les coûts de séchage et d'améliorer la qualité des échantillons, compte tenu des risques accrus auxquels ils s'exposent alors de faire face à un niveau plus élevé de verse, à l'affaissement des épis et à du temps pluvieux. La décision de devancer les dates de récolte dans le but de prévenir les pertes de récolte doit reposer sur l'inspection des champs et la vérification de la qualité des tiges. Lorsque la qualité des tiges laisse à désirer, le premier gros vent ou la première grosse pluie risque de causer des pertes de récolte considérables. La performance de la tête de la récolteuse est également importante au moment de récolter du maïs dont la tige est peu vigoureuse. Garder la vitesse de la tête compatible avec la vitesse au sol afin d'améliorer la circulation des tiges à travers les plaques dépanouilleuses et les rouleaux preneurs. Il se peut également que ces dispositifs doivent être réglés de manière à être plus rapprochés.

Les dommages occasionnés par la moissonneuse-batteuse qui amènent une diminution de la qualité du grain peuvent être attribuables aux facteurs suivants :

a) vitesse de rotation du cylindre trop élevée;
b) ouverture du contre-batteur insuffisante;
c) fourrures trop nombreuses sur le contre-batteur;
d) absence de parallélisme du contre-batteur et du cylindre.

Quand le maïs a gelé avant la maturité, on sait généralement par expérience en Ontario que faire fonctionner le cylindre à la vitesse la plus basse possible est le meilleur moyen de maintenir la qualité du grain.

Voici des données permettant d'évaluer les pertes de récolte attribuables à la moissonneuse-batteuse : 22 grains/m^2 (2 grains/pi^2) représentent des pertes d'environ 0,06 t/ha (1 bo/ac); et un épi de calibre moyen dans 1/100 ac représente des pertes de 0,06 t/ha. Si les pertes occasionnées par la moissonneuse-batteuse dépassent 0,16 t/ha (2½ bo/ac), des réglages s'imposent.

Récolte et entreposage du maïs d'ensilage

Pour un exposé complet, voir la rubrique *Ensilage préfané et ensilage de maïs*, p. 183.

Entreposage du maïs

Séchage et entreposage du maïs

Les trois grands type de séchoirs généralement utilisés sur les fermes sont les suivants :

- cellules sécheuses;
- séchoirs discontinus;
- séchoirs continus.

Aucun système de séchage en particulier n'est supérieur à tous égards aux autres. Le choix d'un système dépend des caractéristiques recherchées, en termes notamment de capacité du séchoir, de qualité du grain, d'efficacité énergétique ou de séchage (BTU/kg d'eau retirée), de caractère pratique, de main-d'œuvre nécessaire au fonctionnement du séchoir, de possibilité de sécher différentes cultures, d'entretien nécessaire et de coût des investissements.

Tous les séchoirs amènent l'air à se déplacer à travers le grain, ce qui permet l'évaporation de l'humidité contenue dans le grain et l'évacuation de la vapeur d'eau. La chaleur est ajoutée à cet air de séchage pour réduire l'humidité relative et accroître ainsi les capacités de séchage. On peut sécher du grain mouillé à des températures plus élevées, puisqu'il sera refroidi une fois que l'humidité sera évaporée du grain. Au fur et à mesure que le grain s'assèche, il approche de la température de l'air de séchage. Le plus longtemps le grain est en contact avec cet air chauffé, le plus sec et le plus chaud il devient.

Séchage du maïs avec ou sans air chaud

Le maïs sèche au fur et à mesure que l'humidité qu'il renferme s'évapore à la périphérie du grain. La plus grande partie de l'humidité contenue dans le grain est

Tableau 3–23.
Températures maximales de l'air recommandées (°C et °F) pour le séchage du maïs destiné à diverses utilisations

Utilisation	Température maximale (°C)	(°F)
Maïs de semence	45	113
Fécule de maïs	70	158
Usages industriels, aliments pour non-ruminants	90	194
Aliments pour bovins	120	248

évacuée par la base du grain. Les premiers pourcentages d'humidité sont faciles à retirer avec relativement peu d'énergie. Les derniers pourcentages d'humidité se logent plus profondément dans le grain. Au fur et à mesure que la périphérie du grain s'assèche, l'humidité doit migrer hors du centre humide. Or, cette humidité ne migre pas vers la périphérie aussi rapidement que se produit l'évaporation à la surface du grain sous l'effet asséchant de l'air, de sorte qu'il faut davantage d'énergie pour retirer les derniers pourcentages d'humidité.

Températures de séchage

On peut recourir à différentes températures pour assécher le maïs, mais ces températures ne doivent pas dépasser les températures maximales de l'air recommandées au tableau 3–23, *Températures maximales de l'air recommandées (°C et °F) pour le séchage du maïs destiné à diverses utilisations*, ci-dessus. La température maximale de séchage recommandée dépend de plusieurs facteurs dont l'utilisation finale du grain, sa teneur en eau initiale, le type de grain et le type de séchoir.

Le pouvoir germinatif est détruit lorsque la température réelle du grain dépasse environ 50 °C (122 °F). Une réduction de la valeur nutritive survient lorsque la température du grain atteint entre 90 et 100 °C (194–212 °F).

Qualité du grain

Pour réduire le fendillement des grains dû au stress, au moment de sortir le grain chaud du séchoir, le laisser séjourner un moment avant de le soumettre à un débit d'air minimal de 6,5 L/sec/m^3 (½ pi^3/min/bo).

Le fendillement des grains dû au stress et les dommages physiques aux grains sont influencés par la vitesse à laquelle l'eau est retirée du grain, par la température maximale du grain ainsi que par la vitesse de refroidissement après le séchage.

En plus de maintenir la qualité du grain, l'utilisation d'un système d'aération à l'air sec ou d'aération à l'air frais peut augmenter la capacité de fonctionnement du système de séchage.

Séchage à l'air ambiant

Le séchage à l'air ambiant du maïs est possible presque partout dans le sud de l'Ontario. Cette méthode de séchage convient bien aux exploitations d'élevage désireuses de produire un maïs de haute qualité qui est exempt de fissures dues au stress. Une bonne gestion du système de séchage à l'air ambiant est une condition *sine qua non* à l'obtention de bons résultats.

Exigences minimales de séchage à l'air ambiant

- Aménager un plancher d'aération complet dans la cellule de stockage;
- Niveler la surface du grain à la grandeur de la cellule de stockage;
- Assurer un débit d'air d'au moins 26 L/sec/m^3 (2 pi^3/min/bo), l'idéal étant un taux plus élevé;
- Récolter le maïs alors qu'il contient au plus 25 % d'humidité;
- Nettoyer le grain afin de le débarrasser des morceaux de rafles ou de particules fines;
- Mesurer avec justesse la teneur en eau du maïs dans la cellule de stockage;
- Bien lire la température de l'air et l'humidité relative à l'extérieur;
- Bien comprendre la teneur en eau d'équilibre du maïs;
- Une fois la cellule de stockage remplie, retirer un peu de grain du noyau de la cellule de stockage (en actionnant la vis de déchargement) de manière à créer un couloir vertical de chute et à enlever la colonne de particules fines pouvant s'être accumulées au centre. Prendre soin de nettoyer le grain retiré avant de le remettre dans la cellule de stockage, sous peine de nuire encore plus au passage de l'air que si le grain n'avait pas été retiré.
- Installer un interrupteur de commande du ventilateur.

Quand faire fonctionner le ventilateur

On ne fait pas fonctionner le ventilateur de la même façon pour sécher le maïs à l'air ambiant que pour faire sécher d'autres cultures. Une fois que la cellule de stockage est assez remplie pour maintenir en place le faux fond perforé, on peut mettre le ventilateur en marche. Celui-ci doit fonctionner sans interruption pendant les 3 premières semaines après le remplissage de la cellule, ou tant que le premier front de séchage n'a pas atteint la surface du grain.

Le premier front de séchage a atteint la surface du grain lorsqu'il y a une baisse notable de la teneur en eau du

maïs à la surface de la cellule. Avant que ce front de séchage n'ait atteint la surface, le maïs qui se trouve au delà du front de séchage reste au même niveau d'humidité qu'à la récolte et peut même voir sa teneur en eau augmenter légèrement par rapport au maïs sous-jacent. Si l'on éteint le ventilateur pendant une période prolongée au début du processus de séchage, on risque de stopper définitivement la progression du front de séchage. En d'autres mots, le front de séchage risque alors de ne plus reprendre sa progression même après la remise en marche du ventilateur, exposant du coup à la détérioration le maïs qui se trouve au delà du front de séchage.

Beau temps, mauvais temps, le ventilateur doit fonctionner tant que le premier front de séchage n'a pas atteint la surface du grain.

Une fois que le premier front de séchage a atteint la surface du grain, commencer à gérer le fonctionnement du ventilateur en fonction du tableau des teneurs en eau d'équilibre du maïs (voir la rubrique *Teneurs en eau à la récolte et coûts de séchage*, p. 65). Le ventilateur doit fonctionner chaque fois que les conditions extérieures permettent encore au grain de s'assécher, et cela est valable même pour le maïs le plus mouillé. Il arrive que cette méthode contribue à accroître la teneur en eau du maïs au fond de la cellule de stockage et qu'elle déshumidifie en fait l'air, de telle sorte qu'elle assèche davantage le haut de la pile.

Parfois, le maïs n'atteint pas la teneur en eau souhaitée avant les grands froids. Le recours au séchage à l'air ambiant à des températures inférieures au point de congélation est un processus lent et inefficace. Il peut alors falloir attendre le début du printemps pour chasser les derniers pourcentages d'humidité. Certains producteurs ne poursuivent jamais le séchage du maïs après l'hiver, étant donné que le maïs se transforme et s'entrepose bien comme aliment pour animaux à des teneurs en eau plus élevées.

Il existe des humidistats qui mettent le ventilateur en marche à des taux d'humidité préréglés. L'opérateur peut régler le taux d'humidité relative auquel le ventilateur doit se mettre en marche. Les cellules de stockage pourvues de dispositifs de brassage assurent des teneurs en eau relativement uniformes dans toute la cellule du fait du malaxage du grain.

Le grain qui se trouve à des teneurs en eau de plus de 25 % peuvent encore être séchés à l'air ambiant. Il s'agit de remplir partiellement la cellule de stockage soumise au séchage à l'air ambiant, ce qui assure un débit d'air de 52–78 L/sec/m^3 (4–6 pi^3/min/bo). Les producteurs qui ont besoin de maïs pour le servir aux animaux à la fin septembre peuvent récolter les tournières et entreposer ce grain dans la cellule de stockage. Les températures douces de la fin septembre, conjuguées à un débit d'air plus élevé permet au maïs de sécher en quelques semaines.

Tableau 3–24.
Teneur en eau d'équilibre (% à l'état humide) du maïs exposé à l'air selon la température et le taux d'humidité relative

Température en °C (°F)	Humidité relative (%)				
	50	60	70	80	90
0 (32)	13,7	15,1	16,6	18,4	21,3
5 (41)	13,1	14,4	15,9	17,8	20,7
10 (50)	12,5	13,8	15,4	17,3	20,2
15 (59)	11,9	13,3	14,9	16,8	19,8
20 (68)	11,5	12,8	14,4	16,4	19,4
25 (77)	11,0	12,4	14,0	16,0	19,0

Teneur en eau d'équilibre

Des chercheurs ont mis au point des tableaux des teneurs en eau d'équilibre qui permettent de prévoir la teneur en eau finale du maïs lorsqu'il est exposé à une certaine température de l'air et à une certaine humidité relative (voir tableau 3–24, *Teneur en eau d'équilibre (% à l'état humide) du maïs exposé à l'air selon la température et le taux d'humidité relative*, ci-dessus). Par exemple, pour déterminer la teneur en eau d'équilibre du maïs exposé à l'air extérieur à 10 °C (50 °F) et à 70 % d'humidité relative, trouver le point d'intersection de la ligne de 10 °C (50 °F) et de la ligne de 70 % d'humidité relative. Ce point correspond à la teneur en eau d'équilibre pour le maïs soumis aux conditions extérieures indiquées.

Lutte contre les mauvaises herbes

La période critique de lutte contre les mauvaises herbes dans le maïs est le stade 2–8 feuilles suivant la méthode de la feuille recourbée (3–10 feuilles suivant la méthode de la pointe de la feuille ou V1–V6).

Période critique de lutte contre les mauvaises herbes

Afin de protéger les rendements, il n'est pas nécessaire de lutter contre les mauvaises herbes pendant toute la saison. Il a été démontré par des recherches qu'une bonne lutte contre les mauvaises herbes au stade 2–8 feuilles permet de maintenir les pertes attribuables

aux plantes adventices à moins de 5 %. Les mauvaises herbes qui germent par la suite ont peu de répercussions sur les rendements et produisent relativement peu de graines. L'étiquette des herbicides indique les stades de croissance des mauvaises herbes où un traitement permet d'obtenir une maîtrise optimale. Le moment de l'intervention doit tirer parti de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes dans la culture et du stade de croissance optimal des mauvaises herbes combattues. La lutte contre les mauvaises herbes doit se faire à l'intérieur du délai fixé selon la culture, mais doit être fonction avant tout du stade foliaire et de la densité de peuplement des mauvaises herbes. La période critique de lutte contre les mauvaises herbes varie à l'intérieur du stade 2–8 feuilles en fonction de facteurs comme le type de sol, l'humidité du sol, les précipitations, les espèces de mauvaises herbes et la densité, les conditions de croissance, etc. On devance le traitement tout en demeurant à l'intérieur de la plage recommandée lorsque les conditions imposent un stress supplémentaire à la culture. Par exemple, la lutte contre les mauvaises herbes dans le maïs cultivé sur des sols à texture grossière fortement infestés de mauvaises herbes et renfermant peu d'humidité oblige à faire des traitements au début de la période critique.

Stades de croissance foliaire

Il n'est pas aussi simple qu'il en a l'air de compter les feuilles sur un plant de maïs. Toujours vérifier, notamment sur l'étiquette, à quelle méthode de décompte on renvoie, car il en existe plusieurs. Les voici :

- L'une consiste à compter toutes les feuilles, y compris la pointe d'une feuille qui sort du cornet au sommet de la plante (méthode de la pointe de la feuille).
- Une autre consiste à ne compter que les feuilles qui sont entièrement déployées et qui sont recourbées, sans tenir compte de la feuille suivante qui est visible, mais qui se trouve à l'intérieur du cornet et est droite (méthode de la feuille recourbée).
- La méthode de la collerette, très utilisée aux É.-U., repose sur le décompte des collerettes visibles, une collerette étant une bande claire qui cerne la tige et sépare le limbe de la gaine foliaire. On utilise les codes V1, V2, V3, etc. pour désigner les stades du maïs; le stade V3, par exemple, correspond alors à la présence de 3 collerettes.

Dans la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, les feuilles sont comptées selon la méthode de la feuille recourbée. Ne sont donc comptées que les feuilles qui sont sorties du cornet et qui commencent à se recourber, ce qui se produit normalement quand les feuilles sont à environ 50 % déployées. C'est la méthode utilisée par la plupart des fabricants, mais il faut toujours s'en assurer en consultant l'étiquette ou le représentant.

Tableau 3–25.
Comparaison des stades de croissance

Feuilles recourbées	Collerettes	Pointes de feuilles	Hauteur (cm)	Hauteur réelle (cm)
2	1	3	5–6	5–11
4	3	5–6	9–17	16–25
6	4–5	7–8	18–33	29–46
8	5–6	9–10	36–54	54–77
10	8	12	58–85	86–112
12	10	14–15	99–114	121–149

Source : *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, publication 75F, MAAARO

Une autre difficulté dans le décompte des feuilles vient aussi de la première feuille. Celle-ci est plus petite et sa pointe est arrondie. À mesure que la plante grandit, les feuilles du bas dépérissent et finissent par tomber. Ainsi, un plant de 10 feuilles peut avoir perdu 1–3 feuilles, sans qu'il y paraisse à première vue. Il faut donc se montrer vigilant et tenir compte des feuilles tombées.

> Conseil : Commencer à compter par le bas et vérifier si la première feuille visible est celle qui est arrondie à l'extrémité.

Il faut environ 75–80 UTC pour produire chaque feuille de maïs. À des températures de 30 °C (86 °F) le jour et de 20 °C (68 °F) la nuit, une nouvelle feuille apparaît tous les 2–3 jours; à 20 °C (68 °F) le jour et 10 °C (50 °F) la nuit, il faut compter 5–6 jours pour chaque nouvelle feuille.

Certaines étiquettes d'herbicide peuvent identifier le stade de croissance par la hauteur du plant. La hauteur réelle du plant peut varier en fonction de ses caractères génétiques et du temps ou des facteurs de stress amenés par la saison. Le tableau 3–25, *Comparaison des stades de croissance*, ci-dessus, donne les hauteurs comparatives de chaque stade de croissance. Les hauteurs peuvent varier par rapport aux hauteurs indiquées dans le tableau. La hauteur apparente correspond à la hauteur mesurée à partir de la surface du sol jusqu'au sommet de la plante, telle quelle, et la hauteur réelle correspond à la hauteur une fois le plant redressé à sa pleine hauteur.

LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES

Pertes dues aux mauvaises herbes

Certaines mauvaises herbes exercent sur la culture une concurrence plus vive que d'autres. Le tableau 3–26, *Pertes de rendement attribuables aux mauvaises herbes dans le maïs en fonction de densités de peuplement connues*, ci-contre, compare ces pertes de rendement dans l'hypothèse où les mauvaises herbes lèvent en même temps que la culture. L'observation sur le terrain est essentielle pour déterminer les espèces de mauvaises herbes présentes dans le champ et les peuplements. Tenir compte de la concurrence exercée par les différentes espèces de mauvaises herbes au moment de décider s'il y a lieu de traiter celles qui ont échappé aux traitements herbicides. Les effets sur la qualité de la culture et le déroulement de la récolte doivent aussi être pris en considération. Ces données estimatives sont fonction de conditions météorologiques normales et d'une humidité du sol suffisante. Les pertes de rendement peuvent augmenter sous des conditions de sol plus sèches et peuvent varier si les plants sont soumis à un stress.

Lutte mécanique contre les mauvaises herbes

Un hersage en plein à l'aide d'une herse légère opérant peu profondément, avant la levée du maïs, ou à l'aide d'une herse-bineuse (munie de dents flexibles en équerre), lorsque la culture atteint 5–10 cm de hauteur, permet aussi de lutter contre les plantules de graminées annuelles. Un travail du sol rapide (10 km/h ou 6,2 milles/h) et peu profond (2,5–3 cm) avec une houe rotative, quand le maïs a 7–8 cm de hauteur, détruit une partie des plantules de mauvaises herbes. Ces techniques ne réduisent pas l'action des herbicides et peuvent, certaines années, accroître l'efficacité du désherbage chimique. Le sarclage entre les rangs peut être un complément aux autres méthodes de désherbage. Il est plus efficace lorsque les mauvaises herbes sont petites. Le sarclage doit se faire en surface pour empêcher la germination de nouvelles mauvaises herbes, diminuer les pertes d'humidité et éviter les dommages aux racines du maïs. Un sarclage entre les rangs peut être nécessaire lorsque des mauvaises herbes ont échappé au traitement herbicide. Les mauvaises herbes devraient être considérées comme « échappées » quand elles ont de 5 à 7 cm de hauteur.

L'application des herbicides en bandes réduit le coût de moitié aux deux tiers, selon l'espace entre les rangs et la largeur de la bande. Un sarclage superficiel entre les rangs est alors nécessaire pour garder les entre-rangs propres. Tenir compte de la combinaison des deux opérations au moment d'évaluer s'il est rentable d'appliquer les herbicides de cette manière.

Tableau 3–26.
Pertes de rendement attribuables aux mauvaises herbes dans le maïs en fonction de densités de peuplement connues
En supposant que toutes les mauvaises herbes lèvent en même temps que la culture.

	Perte (en %)		
	N^bre de plants de la mauvaise herbe/m²		
	1/m²	5/m²	25/m²
Dicotylédones annuelles			
Grande herbe à poux	13	36	56
Chénopode blanc	12	35	56
Amarante	11	34	55
Chénopode blanc (résistant aux triazines)	10	31	54
Amarante (résistante aux triazines)	9	30	53
Lampourde glouteron	6	22	46
Herbe à poux	5	21	45
Moutarde des champs	5	18	42
Abutilon	4	15	40
Renouée persicaire	3	13	36
Renouée liseron	2	10	31
Morelle noire de l'Est	2	7	25
Graminées annuelles			
Sétaire géante	2	10	31
Panic millet	2	10	31
Panic d'automne	2	10	31
Pied-de-coq	2	7	25
Sétaire verte	2	7	25
Sétaire glauque	1	5	18
Panic capillaire	1	5	18
Digitaire	1	3	13
Vivaces			
Chardon des champs	4	15	40
Asclépiade	4	15	40
Laiteron des champs	4	15	40
Chiendent	4	15	40
Prêle	2	7	25
Souchet	2	7	25

Source : Herbicide Application Decision Support System 2001.

Résistance aux herbicides

Il existe en Ontario des cas de résistance aux herbicides. Une résistance aux triazines est apparue en 1974 et est maintenant observée chez plusieurs espèces de dicotylédones et de graminées. En 1997, une résistance est apparue aux inhibiteurs de l'acétolactate synthase (ALS) (herbicides du groupe 2) utilisés pour combattre les amarantes. En 2000, on a découvert des plants de morelle noire de l'Est et de séneçon jacobée qui sont résistants aux ALS. Une résistance à un herbicide apparaît généralement après l'usage répété d'herbicides appartenant au même groupe. Les principes de la lutte intégrée aident à réduire l'apparition d'une résistance et à gérer les résistances lorsqu'elles apparaissent.

Lutte intégrée contre les mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes dans le maïs est influencée par les facteurs suivants :

- rotation des cultures;
- taux de semis;
- écartement des rangs;
- caractéristiques des hybrides;
- pratiques de travail du sol;
- utilisation de la machinerie servant au travail à forfait.

En général, les pratiques agronomiques qui favorisent une culture saine et une croissance rapide sont le meilleur moyen de livrer une concurrence efficace aux mauvaises herbes.

La rotation des cultures peut contribuer à tenir en échec certaines mauvaises herbes vivaces qui poussent mieux dans une culture en particulier. Le passage à une culture différente peut en outre permettre d'utiliser des herbicides différents et de recourir à d'autres pratiques de travail du sol qui peuvent s'avérer particulièrement efficaces pour combattre des espèces précises de mauvaises herbes.

Des rangs rapprochés et des peuplements plus denses ont tendance à donner un couvert plus fourni et à ralentir la croissance des mauvaises herbes. Toutefois, avant de modifier la densité de peuplement, il faut tenir compte des besoins de la culture, afin d'éviter que la lutte contre les mauvaises herbes ne se fasse au détriment de celle-ci.

Les fertilisants ont tendance à stimuler la germination de certaines espèces de plantes. L'application en bandes de phosphore et de potassium a tendance à concentrer les éléments nutritifs là où la culture y a accès. L'épandage d'azote en bandes dérange le sol, ce qui peut stimuler la germination des mauvaises herbes, mais ce type d'épandage laisse par contre l'azote sur une étroite bande et sous la profondeur à laquelle la plupart des mauvaises herbes germent et poussent.

La machinerie peut transporter des graines de mauvaises herbes d'un champ à l'autre. Les moissonneuses-batteuses, le matériel de travail du sol, les érosions éolienne et hydrique peuvent tous disséminer les mauvaises herbes. Celles-ci peuvent aussi infester un champ à la suite d'une application de fumier ou de tout autre amendement apporté au sol. De bonnes pratiques d'assainissement et de nettoyage du matériel de même que l'entretien du pourtour des champs sont autant de moyens d'assurer à long terme une lutte efficace contre les mauvaises herbes. Les oiseaux peuvent aussi transporter des graines de mauvaises herbes d'un champ à l'autre.

Se reporter à la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour plus d'information sur les produits herbicides et les doses à employer.

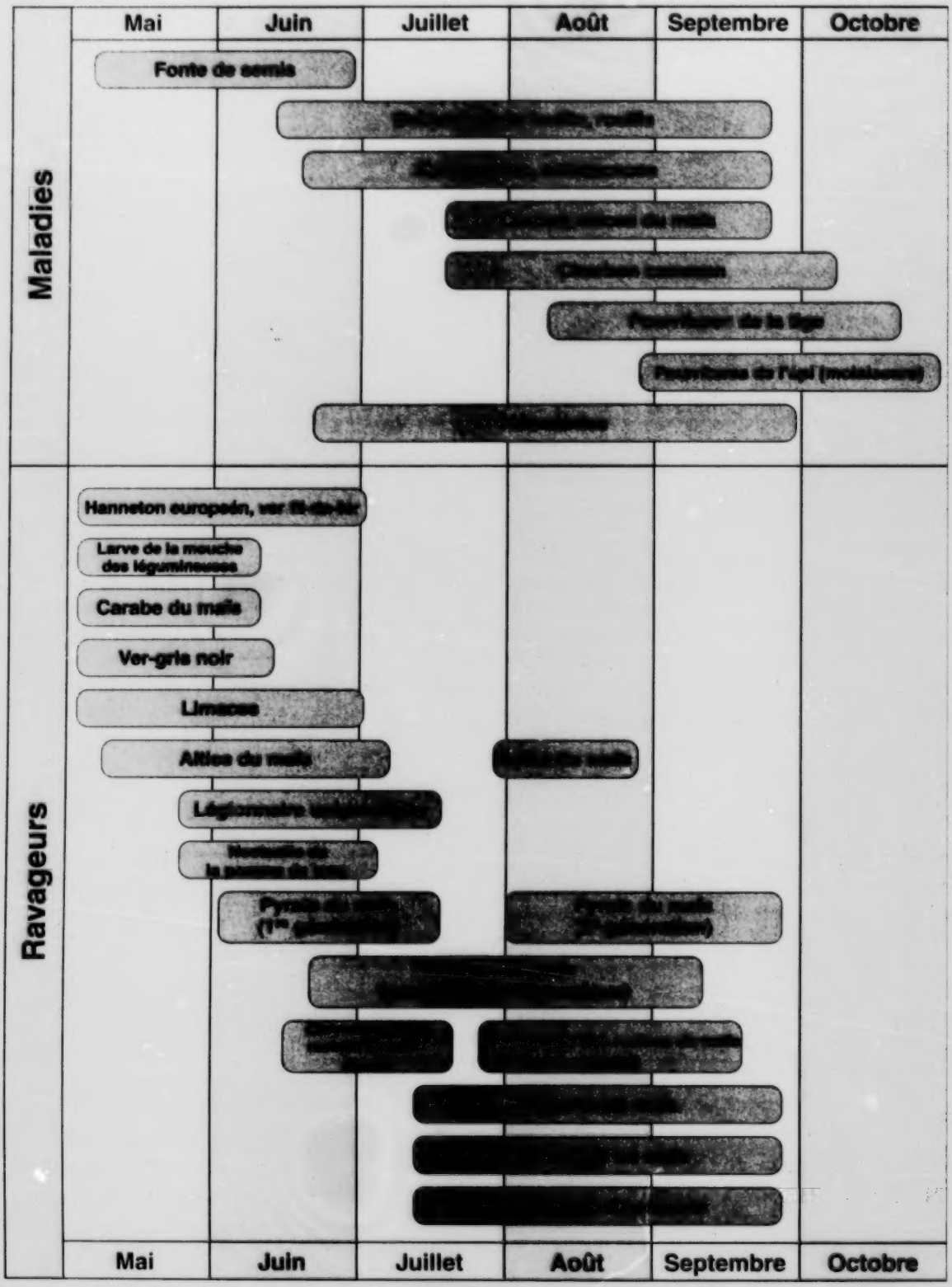


Figure 3–2.
Calendrier de dépistage des ennemis du maïs

Ravageurs

Le tableau 3–27, *Symptômes dans le champ*, ci-dessous, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les symptômes observés dans le champ.

On trouve après le tableau la description de chacun des ravageurs du maïs et les mesures de lutte recommandées.

Tableau 3–27. Symptômes dans le champ

Symptôme	Ravageurs																
	Légionnaire d'automne	Légionnaire uniponctuée	Ver-gris noir	Ver de l'épi du maïs	Altise du maïs	Puceron du maïs	Chrysomèle des racines du maïs adulte	Larve de la chrysomèle des racines du maïs	Hanneton européen	Pyrale du maïs	Sauterelles	Noctuelle de la pomme de terre	Carabe du maïs	Larve de la mouche des légumineuses	Limaces	Ver fil-de-fer
Peuplement clairsemé																
Semence dévorée ou vidée													x	x	x	x
Plants rabougris ou flétris									x			x				x
Plants coupés au niveau du sol ou sous le niveau du sol			x									x				
Dommages sur les feuilles																
Trous au pourtour déchiqueté dans les feuilles	x	x	x												x	
Piqûres ou trous ronds symétriques										x						
Dommages parallèles aux nervures des feuilles sur la face supérieure des feuilles					x											
Dommages sur la tige																
Galeries creusées dans la tige										x		x				
Tige incurvée en col de cygne								x								
Dommages sur les épis																
Gros morceaux ou grains manquants :																
• trou d'entrée sur le côté de l'épi et dommages sur tout l'épi	x															
• aucun trou d'entrée dans l'épi et dommages concentrés à la pointe de l'épi				x												
Grains endommagés en surface et/ou galeries creusées dans les spathes										x						
Soies coupées				x							x					
Chute des épis										x						
Dommages aux panicules																
Panicules brisées										x						
Panicules décolorées ou collantes						x										
Traces de l'alimentation des insectes sur les panicules				x												

Ver fil-de-fer

Description : Le ver fil-de-fer (ou larve de taupin) est une larve longue de 7–35 mm, cylindrique, de couleur brun cuivré et à exosquelette dur (voir planche 9, p. 323). L'adulte est un coléoptère qui est capable de se redresser à la verticale lorsqu'il est mis sur le dos, produisant alors un bruit sec qui lui vaut en anglais le nom de click beetle.

Cycle biologique : Le ver fil-de-fer peut mettre jusqu'à 6 années pour passer du stade de l'œuf à celui d'adulte. Il passe la plus grande partie de sa vie à l'état larvaire. Il hiverne à l'état de larve dans le sol sous la ligne de gel. Lorsque les températures du sol s'adoucissent au printemps, les larves migrent vers la surface pour s'alimenter. En raison de leur long cycle de vie, les larves peuvent endommager plusieurs cultures successives en se nourrissant des racines des mauvaises herbes, des graminées et des plantes cultivées. Une fois que le sol s'est complètement réchauffé et que l'humidité du sol diminue, les larves s'enfoncent dans le sol et sont parfois difficiles à trouver plus tard dans la saison. Au moment d'évoluer au stade adulte, les larves migrent à nouveau vers la surface, effectuent leur pupaison et émergent des pupes pour s'accoupler et pondre des œufs dans les prairies ou les zones de mauvaises herbes.

Dommages : Les vers fil-de-fer sont surtout actifs entre avril et juin. Ils sont en plus grand nombre dans les champs qui ont été peu dérangés. Les larves s'attaquent aux racines, aux semences et aux plantules en germination de nombreuses cultures, dont le maïs, le soya, le blé, les haricots comestibles et les pommes de terre. Une croissance non uniforme ou un peuplement clairsemé peut être causé par le ver fil-de-fer se nourrissant des graines en germination. Les plantules endommagées paraissent rabougries et flétries et leurs feuilles prennent parfois une coloration violacée ou bleue à l'extrémité. Le problème est habituellement plus grave l'année qui suit une culture de gazon soumise à une forte pression par des mauvaises herbes de type graminée, ou lorsque des céréales reviennent souvent dans la rotation. Les vers fil-de-fer sont également plus nombreux dans les sols sableux, surtout sur les buttes.

Technique de dépistage : Le dépistage du ver fil-de-fer doit se faire à la mi-avril, avant les semis. Quelques semaines avant les semis, installer deux pièges-appâts aux endroits du champ qui présentent le plus haut risque d'infestation. Creuser à chaque endroit un trou d'environ 15 cm de large et de 5–8 cm de profond. Choisir un ou deux points du champ où les risques d'infestation sont élevés (buttes sablonneuses, zones fortement envahies de graminées). Mettre au fond du trou un sac en filet de nylon contenant l'équivalent d'une tasse d'une quantité égale de maïs non traité préalablement trempé, et de blé ou de pommes de terre fraîchement coupées. Remblayer en formant un léger monticule destiné à empêcher l'eau de s'accumuler au-dessus du piège-appât. Inspecter les pièges-appâts quelques jours avant les semis en tamisant le contenu du sac de manière à compter le nombre de larves par piège.

Seuil d'intervention : Un ver fil-de-fer par piège-appât.

Stratégies de lutte : Traiter les semences destinées aux champs où l'incidence du ver fil-de-fer est élevée ou aux champs où le maïs fait suite à une culture de gazon. Le traitement des semences protégera les graines en germination, mais sera de peu de secours pour les plantules. L'application d'insecticides dans la raie ou en bandes au moment des semis est recommandée si les populations dépassent le seuil d'intervention. Il n'existe aucun traitement de secours. Pour les recommandations relatives aux insecticides, consulter la publication 812F, *Guide de protection des grandes cultures*. Maîtriser les graminées adventices dans les cultures qui précèdent le maïs.

Larve de la mouche des légumineuses

Description : Le stade nuisible de la mouche des légumineuses est une petite larve apode et sans tête, de couleur blanc jaunâtre (voir planche 53, p. 331). Le corps est fuselé vers l'avant. Les pièces buccales de la larve prennent la forme de deux crochets rétractiles. Les larves creusent dans les graines en germination et dans les parties enterrées des plantules en train de lever, ce qui affaiblit les plantules. Les adultes ressemblent à de petites mouches domestiques, mais sont plus grêles, gris pâle et mesurent environ 5 mm de long.

Cycle biologique : Après l'accouplement, soit entre le début d'avril et le milieu de juin, la femelle de la mouche des légumineuses (stade adulte) se met à la recherche d'un site de ponte. Elle est attirée par les sols humides qui dégagent une odeur de matière organique en décomposition, notamment les zones où le sol est recouvert de résidus de culture, les zones ayant reçu un épandage de fumier ou celles où le sol a été fraîchement travaillé. Les femelles sont également attirées par les mauvaises herbes. Les adultes pondent leurs œufs dans le sol. Les larves se développent

ensuite dans le sol et dans les résidus organiques, en se nourrissant des graines en germination.

Dommages : Les larves de la mouche des légumineuses sont habituellement problématiques les printemps frais et pluvieux, lorsque la germination est retardée. Elles se nourrissent des graines gonflées n'ayant pas encore germé. On les trouve dans le cotylédon, l'embryon et l'hypocotyle. Elles provoquent une levée lente et/ou l'éclaircissement du peuplement. Les plantules qui survivent et germent finissent souvent par mourir ou affichent un retard de croissance.

Technique de dépistage : Contrairement aux dommages causés par le ver fil-de-fer, les dommages causés par la larve de la mouche des légumineuses sont normalement perceptibles dans une bonne partie du champ. Rien ne peut être fait pour réchapper un champ endommagé, à part reprendre les semis, s'il le faut. Les facteurs à haut risque à surveiller comprennent : sol fraîchement travaillé comportant une épaisse couche de résidus, fumier fraîchement épandu, culture d'engrais vert fraîchement enfouie, semis profond conjugué à du temps frais et un retard dans la levée. Examiner la culture à la recherche d'indices d'une levée anormale et de dommages causés par l'alimentation des larves à la base des plants nouvellement levés.

Seuil d'intervention : Aucun seuil d'intervention n'a encore été établi.

Stratégie de lutte : Envisager de faire subir un traitement insecticide à la semence lorsque celle-ci est destinée à des champs qui seront semés tôt si de grandes quantités de fumier ou de résidus ont récemment été incorporés au sol. Utiliser de la semence de bonne qualité qui lèvera rapidement. Les insecticides dirigés contre la chrysomèle des racines du maïs qui sont appliqués dans la raie ou en bandes agissent également contre les larves de la mouche des légumineuses, mais il n'est en général pas économique d'appliquer systématiquement un insecticide granulaire pour lutter contre la larve de la mouche des légumineuses dans le maïs. Il n'existe pas de traitement permettant de réchapper une culture. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les produits recommandés parmi ceux qui sont homologués.

Carabe du maïs

Description : Le carabe du maïs (Stenolophus lecontei) est un petit coléoptère brun d'une longueur de moins de 1 cm (1/3 po) qui se tient dans le sol. Il s'agit essentiellement d'un prédateur de petits insectes, bien qu'il se nourrisse souvent des semences de maïs en germination lorsque la levée est lente.

> Les carabes utiles ressemblent beaucoup aux carabes du maïs, si ce n'est qu'ils sont habituellement plus gros.

Cycle biologique : Ce ravageur hiverne au stade adulte dans le sol. En mai, les carabes s'activent, s'alimentent, s'accouplent et pondent des œufs dans le sol. On en compte deux générations par année.

Dommages : Le stade adulte est le stade nuisible. Les dommages sont confinés à l'endosperme de la graine et sont habituellement observés les printemps frais et pluvieux, lorsque la germination est retardée. Les adultes vident la semence, empêchant ainsi les plants de germer. Le stade critique va de la levée du maïs jusqu'au stade 3 feuilles. Les dommages sont plus susceptibles de se produire lorsque les conditions de sol ou les conditions météorologiques retardent la germination. On trouve le plus souvent les carabes du maïs dans des sols humides et lourds qui sont soumis à un travail réduit du sol et qui sont recouverts d'une couche de résidus trop épaisse.

Technique de dépistage : Les carabes adultes sont présents au moment de la germination. Déterrer les plants malsains ou creuser là où les plants n'ont pas levé, afin d'examiner les graines. Examiner dix graines ou emplacements en cinq endroits différents, afin d'évaluer l'ampleur du problème.

Seuil d'intervention : La reprise des semis peut être nécessaire si le peuplement est très clairsemé au moment où les plants devraient avoir germé.

Stratégies de lutte : Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les méthodes de lutte chimique à envisager.

Le fait d'effectuer les semis dans des sols plus chauds réduit les risques de dommages par le carabe du maïs.

Hanneton européen (ver blanc)

Description : La larve du hanneton européen est blanche et en forme de « C ». Elle a la tête brun orangé et le postérieur sombre. On la distingue des autres vers blancs par le motif en « Y » que forment les soies de l'écusson anal, sur le revers du dernier segment abdominal de la larve (voir planche 10, p. 323). L'adulte est un hanneton de taille moyenne, brun clair ou fauve et de forme ovale, qui ressemble à s'y méprendre au hanneton indigène.

Cycle biologique : Ce ravageur hiverne à l'état de larve ou de « ver blanc » dans le sol, sous la ligne de gel. D'avril à la mi-mai, les larves migrent à la surface du sol et se nourrissent des racines des plantes. La pupaison a lieu entre la mi-mai et la mi-juin. Les hannetons adultes sortent du sol entre le début juin et le début juillet pour s'accoupler. Ils se rassemblent pour le vol nuptial et forment alors des essaims visibles à la brunante. Ils se dirigent vers des endroits élevés, habituellement des arbres ou d'autres éléments du paysage, pour s'accoupler. Les femelles adultes recherchent ensuite des sols humides et frais dans les pelouses ou les champs avoisinants pour y pondre leurs œufs. Les œufs éclosent et les larves nouvellement écloses se nourrissent de racines de la fin juillet jusqu'à ce que le sol gèle. Ces larves s'enfoncent alors dans le sol sous la ligne de gel pour y hiverner. On compte une génération par année.

Dommages : Les vers blancs se nourrissent de racines fasciculées, à 3–5 cm sous la surface du sol. Ils sectionnent les racines, ce qui provoque le rabougrissement et le flétrissement des plants. En grand nombre, les vers blancs nuisent à la levée et donnent des plants dont la croissance semble arrêtée. Les risques les plus élevés d'infestation par le hanneton européen surviennent lorsque la culture de maïs suit celle du soya dans des sols sableux situés à proximité de pelouses, de terrains de golf ou de pâturages.

Technique de dépistage : L'idéal est de faire le dépistage du hanneton européen à l'automne dans le chaume de soya sur pied. Prêter davantage attention aux buttes sablonneuses. À l'aide d'une pelle, creuser un trou d'environ 30 cm (1 pi) de large sur environ 8–10 cm (3–4 po) de profond autour de cinq plants de soya distincts dans chaque zone échantillonnée.

Seuil d'intervention : Aucun seuil d'intervention n'a encore été établi.

Stratégies de lutte : Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les possibilités de lutte chimique. Éviter de semer du maïs si les populations de hannetons européens sont extrêmement abondantes; semer plutôt du soya. Le travail du sol ou le passage des disques en vue de déranger le sol comptent parmi les méthodes de lutte culturale qui permettent de ramener les vers blancs à la surface où ils sont exposés aux éléments et à leurs prédateurs, notamment les oiseaux, les mouffettes et les ratons-laveurs. Pour donner des résultats, le labour d'automne doit se faire avant que les vers blancs ne migrent sous la semelle de labour. Certains ennemis naturels contribuent à maîtriser les populations de ce ravageur. C'est le cas notamment des guêpes parasites (la pélécinide, par exemple), des mouches parasites, de la mouche Pyrgota undata et des champignons.

Ver-gris noir

Description : Les larves de la noctuelle ipsilon (appelées vers-gris noirs) sont noir grisâtre sur le dessus et plus pâles sur le ventre, sans aucune marque distinctive sur le corps (voir planche 11, p. 323). Les larves à maturité mesurent environ 3,5 cm (1¼ po) de long et se cachent dans le sol durant le jour. On les trouve à proximité de plants fraîchement coupés, sous des mottes de terre ou le long des raies mal refermées. Les noctuelles sont des papillons nocturnes gris qui ont une petite marque noire en forme de triangle effilé sur chacune des ailes antérieures.

Cycle biologique : Les noctuelles n'hivernent pas en Ontario, mais sont apportées du sud par des fronts atmosphériques puissants. Les migrations les plus importantes se produisent en mai et en mai, mais peuvent aussi survenir dès le mois de mars. Les vers-gris noirs sont donc plus fréquents dans les champs ayant une couverture verte au début du printemps, avant le labour de printemps. On compte plusieurs générations par année. Toutefois, seule la première génération cause des dommages d'importance économique au maïs. Les nuits douces, claires et calmes au début du printemps fournissent des conditions idéales aux noctuelles pour pondre leurs œufs. Ceux-ci sont pondus dans de la végétation dense, au ras du sol et habituellement avant le labour de printemps. Les larves causent des ravages du début mai jusqu'à la mi-juin.

Dommages : Les feuilles des plants attaqués par les jeunes larves présentent de petits trous ou de petites entailles. Il arrive que les plants flétrissent du fait que la tige a été vidée. Les larves plus grosses coupent le plant au niveau du sol ou juste en dessous. Des

infestations antérieures par le ver-gris noir, la présence avant les semis de mauvaises herbes annuelles d'automne comme le céraiste vulgaire et le blé spontané, la pratique du semis direct et une épaisse couche de résidus comptent parmi les facteurs qui favorisent la pullulation de ce ravageur.

Technique de dépistage : Commencer à faire le dépistage du ver-gris noir une fois tous les 5 jours dès que le maïs commence à lever. Au printemps, porter une attention particulière aux zones lourdement infestées de mauvaises herbes juste avant le travail du sol et les semis. Rechercher des feuilles piquées de trous d'épingle; il s'agit du premier indice de la présence des jeunes larves ayant grimpé au plant. Rechercher également des plants flétris, du feuillage dévoré ou des plants qui sont coupés au sol. Creuser autour des plants endommagés et examiner le sol, étant donné que les larves aiment s'y cacher le jour. Consigner la taille des larves trouvées.

Seuil d'intervention : Si plus de 10 % des plants comportent des feuilles endommagées par les larves, un traitement immédiat assurera une maîtrise quasi-totale. Une fois que le maïs atteint le stade 5 feuilles et que des racines commencent à se développer à la base du plant, le risque est écarté. Les vers-gris noirs presque parvenus à maturité (plus de 2,5 cm de long) sont difficiles à maîtriser et cessent de toute façon de s'alimenter quelques jours après avoir atteint leur plein développement.

Stratégies de lutte : Les traitements insecticides donnent un maximum de résultats lorsqu'ils sont appliqués au sol peu après l'éclosion des larves. Comme celles-ci sont surtout actives le soir, les traitements faits en soirée sont encore plus efficaces. Il n'est pas nécessaire de traiter le champ au complet, mais uniquement les zones qui présentent des signes d'infestation. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, afin de connaître les produits recommandés pour la lutte chimique. En Ontario, le ver-gris noir n'infeste chaque année qu'une fraction seulement de la superficie consacrée à la culture du maïs. Il n'est donc pas recommandé d'épandre systématiquement un insecticide granulaire au moment des semis. Il n'est pas recommandé non plus d'appliquer un insecticide une fois que les larves ont atteint leur plein développement, étant donné que le gros des dommages a alors déjà été fait. Dans les champs de maïs soumis au semis direct, il est important qu'il n'y ait pas de végétation verte qui attire les noctuelles au début du printemps. Une destruction chimique à l'automne des repousses de céréales et des mauvaises herbes est recommandée. Les champs doivent être à nu pendant au moins 2 semaines avant les semis.

Limaces

Description : Jeunes et adultes ont le corps mou, sont apodes, grisâtres ou mouchetés et recouverts d'une substance visqueuse ou gélatineuse qui les empêche de se dessécher. La tête est pourvue de deux paires de tentacules. Les limaces mesurent habituellement 1–3 cm de longueur, mais peuvent atteindre jusqu'à 10 cm.

Cycle biologique : Il n'y a qu'une seule génération par année, mais on compte deux populations, l'une qui vient à maturité au printemps et l'autre, à l'automne. Par conséquent, à la fois les œufs et les adultes hivernent. L'éclosion des jeunes limaces se fait à la fois au printemps et à l'automne. Elles sont actives pendant les périodes fraîches et pluvieuses de l'année. Les limaces préfèrent des milieux caractérisés par une forte humidité et des températures relativement fraîches. Les débris, notamment les résidus de culture ou le fumier, leur procurent un abri contre les rayons du soleil.

Dommages : Les limaces se nourrissent dans le sol ou hors du sol, selon les niveaux d'humidité. Elles se nourrissent des graines en germination et des plantules sans afficher de préférence pour une partie des plantes en particulier (voir planche 12, p. 323). Sur les plantes plus grosses, les limaces se nourrissent des parties inférieures, en dévorant les feuilles en totalité ou en partie, ne laissant que des trous déchiquetés qui donnent aux feuilles l'aspect d'un squelette (voir planche 55, p. 331). Les dommages qu'elles causent peuvent ressembler aux dommages causés par la grêle. Les limaces peuvent provoquer une défoliation importante. Si leurs populations sont abondantes, elles peuvent se nourrir de graines en germination avant même la levée. Les champs les plus à risque sont ceux où le maïs est semé en semis direct plusieurs années d'affilée, ceux qui comportent une couche épaisse de résidus et les champs qui suivent des cultures fourragères, particulièrement de graminées.

Technique de dépistage : Les limaces étant nocturnes, leur dépistage se fait la nuit ou au petit matin, lorsqu'elles sont actives. Les indices à surveiller sont des bandelettes de tissu foliaire disparues et/ou de petits trous mâchouillés dans les feuilles. Examiner les débris et les mottes de terre. La présence de traces visqueuses de couleur argent sur les plants ou le sol est un indice de la présence des limaces qui ne trompe pas.

Inspecter 1,5 m de rang en cinq points du champ (sous les mottes et les morceaux de résidus de végétaux).

Seuil d'intervention : Aucun seuil d'intervention n'a été établi. La plupart des plantules de maïs échappent aux dommages causés par les limaces étant donné que le point végétatif est habituellement protégé à l'intérieur du cornet. Une fois que les plants ont plus de 8–10 feuilles, le risque de dommages est considérablement réduit.

Stratégies de lutte : Le travail du sol peut servir à combattre les limaces étant donné que l'élimination de la couche de résidus expose les limaces à la déshydratation et à la prédation par les oiseaux et les mammifères. Le travail du sol par bandes ou le passage de socs bineurs peut accélérer l'assèchement sur le rang et prévenir ainsi les dommages par les limaces. Le fait d'éloigner les débris des plantules peut aussi contribuer à réduire les dommages. Il n'existe actuellement aucune méthode de lutte chimique qui soit économique et efficace pour combattre les limaces. Voir la 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour d'éventuelles méthodes de lutte chimique.

Chrysomèle des racines du maïs

Description : Il existe en Ontario deux espèces de chrysomèles des racines du maïs : la chrysomèle occidentale des racines du maïs (CORM) et la chrysomèle septentrionale des racines du maïs (CSRM). La CORM va du jaune au vert et possède trois bandes noires sinueuses sur les ailes (voir planche 13, p. 324). La CSRM est d'un vert uniforme tirant sur le jaune (voir planche 14, p. 324). Les larves sont blanches et ont la tête brune et une plaque sombre distinctive sur la queue; elles mesurent environ 1 cm de longueur.

> Ne pas confondre la chrysomèle occidentale des racines du maïs avec la chrysomèle rayée du concombre. Cette dernière est noire sous l'abdomen et les bandes alaires sont droites plutôt que sinueuses.

Cycle biologique : La distribution à la fois de la CORM et de la CSRM est uniforme en Ontario, à raison d'environ 85 % de CORM et 15 % de CSRM. Les deux espèces ne comptent qu'une seule génération par année. Les œufs sont déposés dans le sol à partir de juillet jusqu'à la première gelée meurtrière à l'automne. Les œufs hivernent et éclosent au début juin. Les adultes émergent à la fin juillet et se nourrissent des soies et des panicules mâles. Si les panicules ne sont par sorties, les chrysomèles se nourrissent des feuilles, dévorant les tissus internervaux sur le revers des feuilles, laissant ainsi des « fenêtres » dans la feuille.

Dommages : Les larves se nourrissent de l'extérieur et de l'intérieur des racines, entre la mi-juin et la mi-juillet, ce qui nuit à l'absorption des éléments nutritifs et de l'eau et cause un stress aux plants. Les larves plus grosses se nourrissent des racines échasses, ce qui diminue la stabilité du plant et le porte à verser ou à former un col de cygne. Les adultes se nourrissent du pollen et coupent les soies, ce qui nuit à la pollinisation. Les facteurs de risque comprennent des sols plus lourds (argile), de fortes populations de coléoptères dans la culture de maïs la saison précédente et le fait qu'un champ a été le dernier à être ensemencé la saison précédente.

Technique de dépistage : Inspecter chaque semaine 20 plants en cinq points différents du champ à partir du moment où les adultes émergent, soit entre la fin juillet et la fin août.

Seuil d'intervention : S'il y a en moyenne moins de 1 adulte par plant de maïs jusqu'au mois d'août, aucun traitement insecticide n'est nécessaire dans la culture de maïs de la saison suivante. (Nota : Au moment de dénombrer les adultes, 1 CORM vaut 2 CSRM). Le maïs de grande culture peut supporter de fortes populations d'adultes (plus de 10 adultes par épi) au moment de la pollinisation sans risque de pertes économiques. Une fois la pollinisation terminée, les dommages causés par l'alimentation des chrysomèles ne sont plus menaçants. Dans le maïs-grain, des insecticides foliaires dirigés contre les adultes peuvent être nécessaires si les populations d'adultes sont telles que les soies sont cassées et que la pollinisation est interrompue.

Stratégies de lutte : La rotation des cultures est la meilleure stratégie de lutte. Comme le maïs est le principal hôte, éviter de semer du maïs après du maïs. La monoculture de maïs produit jusqu'à 4 millions de chrysomèles par hectare. Même si les insecticides contre les chrysomèles peuvent protéger la culture, ils parviennent tout au plus à réduire en moyenne de 25 % l'émergence des adultes. La rotation des cultures est donc de loin plus efficace que les insecticides pour réduire les populations de chrysomèles. Si la rotation des cultures ne peut être pratiquée, il peut être nécessaire de traiter le maïs la

deuxième année, surtout dans les sols argileux. Si le symptôme du col de cygne est fréquemment observé ou que la surveillance des adultes en août révèle des populations considérables, envisager d'effectuer des traitements insecticides le printemps suivant si le maïs doit être à nouveau semé dans ce champ. Pour connaître les recommandations relatives au insecticides radiculaires, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Pyrale du maïs

Description : Les masses d'œufs de la pyrale du maïs sont plates et blanc crème. Les œufs sont empilés les uns sur les autres comme des écailles de poisson (voir planche 15, p. 324). Les larves à maturité sont de blanc crème à gris pâle et possèdent deux petites taches par segment abdominal. Elles mesurent environ 2,5 cm de long et ont la tête noire (voir planche 16, p. 324). Les adultes sont des papillons brun clair d'environ 2 cm de long qui arborent des lignes sombres et sinueuses sur les ailes antérieures (voir planche 17, p. 324). Les papillons mâles sont plus sombres et plus petits que les femelles.

Cycle biologique : Il existe deux souches distinctes en Ontario. Au sud d'une ligne allant de Sarnia à Simcoe, on trouve une souche bivoltine qui peut donner de multiples générations selon la longueur de la saison. Au nord de cette ligne, on trouve une souche univoltine qui ne produit qu'une seule génération par année. Toutefois, il y a des endroits dans le sud du Québec où l'on trouve également deux générations par année. Sur une bande large de 50 à 80 km le long de cette ligne, les deux souches se chevauchent.

Hivernation : L'insecte hiverne à l'état de larve dans les tiges de maïs et d'autres résidus laissés à la surface du sol la saison précédente. Au fur et à mesure que les journées rallongent et que les températures moyennes s'élèvent à plus de 10 °C le jour, les larves amorcent leur pupaison. On trouve les pupes à l'intérieur des galeries creusées par les larves. Il faut compter 2 semaines avant que les adultes n'émergent des pupes.

Émergence des adultes : Même si dans les régions les plus au sud de la province, les adultes commencent à émerger des pupes vers la troisième semaine de mai, il faut habituellement attendre la mi-juin avant que les papillons ne fassent leur apparition dans l'est de l'Ontario. Après leur émergence, les pyrales se dirigent vers les « sites d'action » les plus proches, soit les habitats végétatifs comme les haies clôtures, les fossés et les haies naturelles qui bordent les champs.

Croissance : Après l'accouplement, les femelles quittent les sites d'action pour pondre leurs œufs sur les plantes-hôtes. Elles pondent en général les œufs sur le revers des feuilles, près de la nervure principale. Là où des pyrales du maïs univoltines sont présentes, les larves se développent tout au long de la saison jusqu'à l'automne, moment où, parvenues au cinquième stade larvaire, elles se préparent à hiverner. Là où des pyrales du maïs bivoltines sont présentes, les larves de la première génération subissent la pupaison au milieu de l'été, émergent sous forme d'adultes et complètent une deuxième génération avant d'entrer en diapause à l'automne.

Dommages : Les larves de début de saison se nourrissent des feuilles, qu'elles laissent couvertes de petites piqûres et qu'elles quittent tôt ou tard pour migrer dans le cornet et s'attaquer à la panicule mâle qu'il renferme. Les larves de fin de saison se nourrissent brièvement des feuilles, s'enfoncent par la suite dans la nervure principale de la feuille et migrent dans la tige du plant et les spathes. Les larves peuvent aussi se nourrir directement des grains en formation. Des infestations graves peuvent donner lieu à des tiges qui versent et à des épis retombants. Ce ravageur peut être un vecteur à la fois de pourritures de la tige et de pourritures de l'épi. La pratique du semis direct, la présence d'une épaisse couche de résidus, des rotations qui comprennent plusieurs cycles de maïs, la situation dans une région où la culture du maïs est prépondérante (dans une proportion d'au moins 50 %) et le chevauchement des souches univoltines et bivoltines comptent parmi les principaux facteurs responsables des dommages par la pyrale du maïs.

Technique de dépistage : En début de saison, les pyrales adultes sont attirées par des champs de maïs plus hauts qui ont été semés tôt. Les champs semés plus tard sont plus vulnérables aux attaques des pyrales de deuxième génération, car la présence de soies et de panicules mâles attirent les pyrales femelles adultes. Examiner au moins cinq séries de 20 plants par champ (100 plants par champ).

Seuil de nuisibilité économique : Voir l'annexe E, *Calculs afférents à la détermination du seuil de nuisibilité économique de la pyrale du maïs*, p. 308, pour savoir comment déterminer ce seuil.

Stratégies de lutte : Si la pyrale du maïs constitue un risque de moyen à élevé dans la région, envisager de semer des hybrides de maïs transgéniques Bt. Utiliser des hybrides de maïs qui expriment la toxine Bt dans

Pour le dépistage des individus de la première génération, être à l'affût de dommages sur les feuilles. Tirer et dérouler le cornet des plants endommagés à la recherche de larves. Fendre la tige des plants de haut en bas pour localiser les larves plus vieilles. Noter le pourcentage de plants endommagés et le nombre et la taille des larves trouvées.

Pour le dépistage des individus de la deuxième génération, rechercher des masses d'œufs sur le revers des feuilles, près de la nervure principale. Concentrer les efforts d'observation sur le terrain aux trois feuilles qui se trouvent au-dessus et en dessous de l'épi. Noter le pourcentage de plants qui comportent des masses d'œufs. Faire le dépistage tous les 5 à 7 jours jusqu'à ce que les pics de capture soient passés (environ 1 mois).

l'épi ainsi que dans la tige afin d'éviter les pourritures de l'épi et de la tige.

En général, les insecticides n'ont pas permis jusqu'ici de combattre de manière rentable les pyrales dans le maïs de grande culture. L'utilisation d'hybrides de maïs transgéniques Bt donne de loin de meilleurs résultats. Le déchiquetage des débris après la récolte est un moyen efficace de détruire les pyrales qui hivernent dans les tiges et le chaume; laisser le moins possible de tiges. Choisir des hybrides de maïs qui offrent une résistance ou une tolérance aux

Si l'on utilise du maïs Bt, il faut absolument offrir aux pyrales un refuge en semant sur au moins 20 % de la superficie du maïs non-Bt, afin de réduire les risques d'apparition d'une résistance au Bt. Ce refuge peut être constitué de bandes d'environ 6 rangs de large (trois boîtes de semence sur un semoir de 8–12 rangs, par exemple) ou d'un bloc ensemencé de maïs non-Bt. Dans tous les cas, les plants de maïs Bt doivent se trouver à moins de 400 m des plants non-Bt. Ne pas mêler les semences des deux types de maïs en croyant créer ainsi un refuge.

dommages par la pyrale et qui sont adaptés à la région. Les stades immatures de la pyrale sont la proie d'ennemis naturels qui contribuent à en réduire les densités de population. Des prédateurs comme les coccinelles et les anthocorides (ou punaises des fleurs) se nourrissent des œufs et des jeunes larves. Des guêpes parasites et des acariens prédateurs peuvent aussi contribuer à maîtriser les pyrales.

Pour plus d'information sur la pyrale du maïs ou le maïs Bt, voir la publication 12F du MAAARO, *Manuel sur la culture du maïs sucré,* et la publication de la Coalition canadienne contre les ravageurs du maïs, *Guide du producteur – Contrôle de la pyrale du maïs en utilisant la technologie du maïs Bt.* Cette dernière publication est accessible à l'adresse http://ontariocorn.org/BtFrench.pdf.

Légionnaire uniponctuée

Description : La larve de la légionnaire uniponctuée atteint jusqu'à 4 cm (1½ po) à son plein développement. Elle va du vert terne au brun et peut être facilement confondue avec d'autres chenilles, notamment le ver-gris panaché et la larve de la légionnaire d'automne. La larve de la légionnaire uniponctuée possède toutefois deux traits distinctifs, soit des bandes latérales bordées de blanc le long du corps et des bandes diagonales sombres au sommet de chaque fausse-patte abdominale (voir planche 18, p. 325). La tête est brun-jaune et est réticulée de lignes brun foncé qui créent un motif. La légionnaire adulte est un papillon de nuit de couleur sable qui possède deux taches blanches caractéristiques au centre de chaque aile antérieure.

Cycle biologique : Au début du printemps, les légionnaires uniponctuées adultes préfèrent pondre leurs œufs dans les herbages. Les larves éclosent et se nourrissent la nuit ou les jours couverts pendant approximativement un mois. On compte deux générations de ce ravageur par année, mais c'est la première génération qui a tendance à faire le plus de dégâts dans les cultures de maïs en Ontario.

Dommages : La larve de la légionnaire uniponctuée s'alimente la nuit. Dans les champs de maïs soumis à des méthodes traditionnelles de travail du sol, les dommages surviennent habituellement d'abord dans les rangs périmétriques, tandis que dans les cultures de maïs en semis direct qui suivent des cultures de petites céréales ou de graminées, les dommages apparaissent un peu partout dans le champ. Ce ravageur envahit fréquemment les champs de maïs depuis des champs de céréales avoisinants. Les dommages apparaissent d'abord sur le pourtour des feuilles. Tôt ou tard, le plant est défolié et il ne reste plus que la tige et la nervure principale des feuilles. Tant que le point végétatif n'est pas endommagé, le plant de maïs peut se remettre d'une infestation modérée.

Technique de dépistage : Le meilleur moment pour faire le dépistage des larves est en début de soirée, juste avant le coucher du soleil. Examiner 20 plants en cinq points du champ (100 plants au total). Le jour, on peut trouver les larves dans le cornet, à l'aisselle des feuilles, parmi les débris de culture qui jonchent le sol ou sous des mottes de terre. On peut également trouver des excréments bruns, qui sont souvent

confondus avec des œufs, dans le cornet ou sur le sol près du plant. Noter la taille et le nombre de larves.

Seuil d'intervention : Tant que le point végétatif du plant n'est pas endommagé, le plant de maïs peut habituellement se remettre de dommages modérés. Lorsque les dommages surviennent en début de saison, l'application d'un traitement insecticide sur les plantules peut être justifié s'il y a au moins 2 larves par plantule et si plus de 10 % des plants sont atteints. Dans le maïs passé le stade du cornet, si 50 % des plants présentent des signes de dommages et sont infestés par des larves de moins de 2,5 cm (1 po) de longueur, un traitement insecticide peut être justifié. Pendant l'observation sur le terrain, rechercher la présence d'œufs sur le dos des larves. Ces petits œufs, ovales et jaunâtres sont habituellement situés juste derrière la tête de la larve. Il s'agit d'œufs d'une mouche parasite. Lorsque les œufs éclosent, il en sort des asticots qui tuent les larves de légionnaires.

Stratégies de lutte : Si les larves ont atteint leur longueur maximale (environ 4 cm (1½ po)), il n'y a aucun avantage à appliquer un insecticide puisque le gros des dommages est déjà fait. Les insecticides ne sont efficaces que contre les larves qui ont moins de 4 cm (1½ po) de longueur. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour les recommandations relatives aux insecticides. Confiner les traitements aux zones infestées. Les parasites et autres organismes utiles empêchent généralement les légionnaires d'atteindre des niveaux dommageables. Éviter tout traitement insecticide en présence d'un grand nombre de larves parasitées. Étant donné que le maïs envahi de mauvaises herbes de type graminées attire les légionnaires adultes en vue de la ponte des œufs, il faut débarrasser le champ et ses pourtours des mauvaises herbes. Il n'est pas toujours judicieux de lutter contre les graminées en fin de saison, étant donné qu'on pousse alors les larves à se réfugier dans les herbes mortes pour ensuite migrer vers la culture.

Légionnaire d'automne

Description : La larve de la légionnaire d'automne atteint jusqu'à 4 cm (1½ po) de long à son plein développement. Sa couleur varie du chamois clair au vert et peut même aller presque jusqu'au noir (voir planche 19, p. 325). Elle possède trois bandes blanches minces sur le dos et une bande jaune plus épaisse ponctuée de points rouges de chaque côté du corps, juste au dessus des pattes. Le corps est parsemé de taches noires appelées tubercules, desquelles sortent des épines.

La larve de la légionnaire d'automne se distingue de la larve de la légionnaire uniponctuée par la présence sur son front d'un « Y » inversé blanc. La légionnaire d'automne a la tête brune ou noire.

Les adultes sont des papillons de nuit gris foncé qui ont un motif moucheté sur les ailes. L'extrémité de l'aile peut comporter une tache blanche.

Cycle biologique : Au stade adulte, la légionnaire d'automne est un papillon de nuit qui migre des États du sud et fait son apparition plus tard dans la saison dans les champs de maïs à pleine maturité. L'insecte ne résiste pas à l'hiver dans les régions où le sol gèle.

Dommages : La légionnaire d'automne est un ravageur occasionnel des cultures de graminées, comme celles du maïs et du blé. Les larves se nourrissent des feuilles du cornet et des épis, essentiellement de la fin juillet à septembre. Les

Les dommages causés à l'épi sont semblables à ceux qui sont attribuables au ver de l'épi du maïs, si ce n'est que le trou d'entrée de la légionnaire d'automne est facile à voir sur le côté de l'épi, et que les dégâts qu'elle cause s'étendent à tout l'épi, tandis que le ver de l'épi du maïs pénètre dans l'épi en empruntant les canaux des soies et que les dommages qu'il cause se concentrent habituellement autour de la pointe de l'épi.

larves de la légionnaire d'automne se nourrissent durant la journée, tandis que celles de la légionnaire uniponctuée font leurs ravages la nuit. Les premiers indices de la présence de la légionnaire d'automne sont des feuilles présentant des trous aux pourtours déchiquetés et la présence, à proximité, d'excréments brun rougeâtre et humides.

Technique de dépistage : Examiner 20 plants en cinq points du champ pour déterminer le niveau d'infestation. Noter la taille et le nombre de larves. Pendant l'observation sur le terrain, voir si le dos des larves ne comporte pas d'œufs de parasites. Ces petits œufs, ovales et jaunâtres sont habituellement situés juste derrière la tête de la larve. Il s'agit d'œufs d'une mouche parasite. Lorsque les œufs éclosent, il en sort des asticots qui tuent les larves de légionnaires.

Seuil d'intervention : Si 50 % des plants sont infestés de larves de moins de 2,5 cm (1 po) de longueur, un traitement insecticide peut être justifié, mais les dommages n'entraînent habituellement pas de pertes économiques tant que l'infestation n'est pas forte et

que les dommages ne sont pas concentrés sur les panicules mâles non encore formées.

Stratégies de lutte : Pour connaître les recommandations relatives aux insecticides, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Les légionnaires ont tendance à se déplacer par nuées d'un champ à l'autre. Il est conseillé de pulvériser les pourtours du champ envahi au moment précis où l'on aperçoit ces nuées. La lutte chimique est inefficace contre les larves de plus de 2,5 cm (1 po) de longueur et contre les larves concentrées dans l'épi. Des parasites et d'autres organismes utiles réussissent habituellement à maintenir les populations de légionnaires sous le seuil de nuisibilité. Éviter tout traitement insecticide en présence d'un grand nombre de larves parasitées. Le maïs semé tard est plus vulnérable aux dommages causés aux feuilles et au cornet. Comme les zones herbeuses à l'intérieur et sur le pourtour du champ attirent les adultes au moment de la ponte, il est recommandé de débarrasser le champ de maïs des graminées et des mauvaises herbes. Par contre, il n'est pas toujours judicieux de détruire les graminées en fin de saison, étant donné qu'on pousse alors les larves à migrer des herbes mortes vers la culture.

Ver de l'épi du maïs

Description : Le ver de l'épi du maïs est de couleur extrêmement variable, allant du vert clair au jaune. Cette larve atteint jusqu'à 4 cm (1 ½ po) de long à son plein développement. Son corps est parcouru longitudinalement de bandes proéminentes (voir planche 20, p. 325).

La taille du ver de l'épi du maïs et la présence de bandes sur son corps permettent de le différencier de la pyrale du maïs, et sa tête de couleur chamois permet de le différencier de la légionnaire d'automne.

Au stade adulte, le ver de l'épi du maïs est un papillon de nuit de couleur fauve ou chamois. Les ailes antérieures comportent un point brun central visible du dessous de l'aile. Les ailes postérieures sont pâles avec une large bande marginale d'un brun plus foncé.

Cycle biologique : Le ver de l'épi du maïs, aussi appelé noctuelle de la tomate, ne résiste pas à l'hiver en Ontario. La noctuelle de la tomate migre au stade adulte des États du sud où elle envahit les champs de coton. Elle arrive habituellement en Ontario en août, mais elle peut aussi arriver aussi tôt que la fin juin. Les noctuelles pondent ensuite leurs œufs un à un sur les soies fraîches. Les œufs éclosent et leurs larves se nourrissent des soies et des grains à la pointe de l'épi. La larve amorce la pupaison, mais meurt peu après l'arrivée du gel.

Dommages : Les larves peuvent se nourrir des feuilles et des panicules, mais on les trouve surtout sur les soies et les grains en formation. Les larves endommagent les panicules mâles, nuisent ainsi à la pollinisation et consomment les soies, ce qui nuit au développement de l'épi. Les champs à risque sont ceux qui sont semés tard et qui produisent des soies fraîches pendant le pic de la population des vers de l'épi du maïs.

Contrairement à la pyrale du maïs et à la légionnaire d'automne, le ver de l'épi du maïs ne laisse pas de trous d'entrée dans les spathes, mais se concentre plutôt dans le tiers supérieur de la pointe de l'épi, dont il détériore l'apparence.

Technique de dépistage : Localiser cinq jeux de 10 plants par champ et ouvrir l'épi à la recherche de dommages ou de traces laissées par la présence de vers de l'épi du maïs, notamment la présence de moisissures de l'épi, dont ce ravageur est un vecteur. Déterminer le pourcentage d'épis infestés. Le ver de l'épi du maïs est sujet au cannibalisme, ce qui explique qu'il n'y ait habituellement pas plus de une larve par épi de maïs.

Seuil d'intervention : Ce ravageur n'entraîne habituellement des pertes économiques que dans les champs de maïs sucré, mais il peut être nuisible dans les champs de maïs de semence qui sont semés tardivement et qui sont au stade de l'apparition des soies au moment de la ponte des œufs.

Stratégies de lutte : Le maïs semé plus tôt échappe parfois aux pics de populations de vers de l'épi du maïs si l'apparition des soies survient précocement. En général, il n'est pas rentable de recourir aux insecticides pour lutter contre le ver de l'épi du maïs dans les champs de maïs de grande culture. Il peut par contre être avantageux de traiter les semences afin de maintenir la qualité des grains. On trouve dans le champ, plusieurs ennemis naturels, dont les trichogrammes (des guêpes parasitoïdes), les coccinelles, les chrysopes et les mouches parasites, qui contribuent à tenir en échec les populations de vers de l'épi du maïs.

Altise du maïs

Description : Coléoptère minuscule (1,8 mm), noir et brillant, aux pattes postérieures allongées qui lui permettent de sauter lorsqu'il est dérangé (voir planche 21, p. 325).

Cycle biologique : Ce ravageur hiverne au stade adulte à la base des graminées. Au début du printemps, les altises émergent et les femelles fertilisées pondent leurs œufs dans le sol à proximité de la base des plants de maïs. En moins de 6 jours, les œufs éclosent. Ils donnent naissance à des larves qui passent ensuite au stade de pupe, d'une durée de 14 jours, après quoi les adultes émergent du sol. De trois à quatre générations se chevauchent chaque année. Seules les générations présentes du début mai à la fin juin, soit durant la levée du maïs, sont considérées comme un problème potentiel.

Dommages : Seuls les cultivars sensibles affichent des pertes de rendement. Les dommages causés aux feuilles par les altises prennent la forme de longues égratignures ou de « fenêtres » généralement parallèles aux nervures. Les altises du maïs sont des vecteurs du flétrissement de Stewart (*Erwinia stewartii*), qui se manifeste sur le plant comme des lésions linéaires aux contours ondulés. Les plants atteints peuvent se flétrir ou voir leur croissance s'arrêter.

Technique de dépistage : Inspecter cinq jeux de 20 plantules par champ pour déterminer la présence et la densité de population des altises.

Seuil d'intervention : Une moyenne de cinq altises ou plus par plant avant le stade de la quatrième feuille peut justifier une intervention.

Stratégies de lutte : Les hivers cléments sont favorables à la survie hiémale des altises et des bactéries. Éviter de semer tôt en début de saison des cultivars sensibles au flétrissement de Stewart. Il n'est pas rentable de pulvériser des insecticides sur le maïs pour le protéger du flétrissement de Stewart, sauf s'il s'agit d'un cultivar de maïs de semence extrêmement sensible. Des traitements des semences sont en cours d'élaboration pour la lutte contre les altises. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les possibilités de lutte chimique existantes.

Noctuelle de la pomme de terre

Description : Les larves vont du violacé clair au rose. Elles mesurent environ 4 cm (1½ po) de longueur à leur complet développement (voir planche 22, p. 325). Les adultes sont des papillons de nuit bruns qui sont actifs en août et en septembre.

Cycle biologique : Ce ravageur du maïs cause davantage de dommages dans les comtés de l'est, bien que des infestations puissent se produire partout dans la province. Il n'y a qu'une seule génération par année. Ce ravageur hiverne à l'état d'œuf dans les graminées. Les œufs sont pondus en deux ou trois rangées parallèles sous les spathes. Les œufs éclosent à la fin avril et de petites larves creusent d'abord des trous dans les tiges des graminées. Déjà, à la fin mai, les larves sont trop grosses pour les tiges des graminées et migrent vers les cultures avoisinantes qui offrent des tiges plus grosses, comme celles du maïs. Ces larves continuent de s'alimenter jusqu'à la fin juin, après quoi, elles effectuent leur pupaison et émergent sous forme d'adultes à la fin juillet.

Dommages : Le stade larvaire est le seul stade nuisible. Les dommages sont normalement plus graves sur les pourtours du champ ou près des zones herbeuses ou envahies de mauvaises herbes. Les larves se nourrissent des plantes à la fin mai ou au début juin. Chez les jeunes plants, la larve creuse dans la base du plant, sous la ligne de sol. Les plants sont parfois coupés à la base, ce qui fait penser aux dommages causés par le ver-gris noir. À partir du stade 3 feuilles, les larves se nourrissent à l'intérieur du cornet à la base du plant de maïs, ce qui provoque le flétrissement de la première ou des deux premières feuilles du haut, tandis que la partie inférieure du plant demeure saine. Les champs à haut risque comprennent les champs qui, l'année précédente, ont été envahis de mauvaises herbes ou ont servi à la culture de graminées, les champs qui font suite à une culture de gazon et les champs soumis à des méthodes de travail de conservation du sol.

Technique de dépistage : La larve de la noctuelle de la pomme de terre se trouve habituellement à l'intérieur de la tige ou dans le sol à proximité de la base du plant. Rechercher surtout ce ravageur le long des haies clôtures ou dans les zones herbeuses.

Seuil d'intervention : Aucun seuil d'intervention n'a encore été établi.

Stratégies de lutte : Il n'existe aucune mesure de lutte chimique qui soit efficace contre ces insectes étant donné que la larve de la noctuelle reste cachée à

l'intérieur du plant et se trouve ainsi protégée. Une bonne lutte contre les mauvaises herbes une année (particulièrement dans les zones herbeuses) réduiront les risques de dommages l'année suivante. Le labour d'automne ou la destruction chimique de la végétation peut réduire le nombre d'œufs susceptibles d'hiverner. Il existe des guêpes parasites qui parviennent généralement à maintenir ce ravageur sous des seuils de nuisibilité économique.

Puceron du maïs

Description : Ces pucerons sont de petits insectes (de 2 mm ou moins) vert bleu au corps mou, aux pattes noires et aux cornicules noires et courtes (les cornicules sont des protubérances sur la partie postérieure du dos des pucerons) près de l'extrémité arrière de l'abdomen (voir planche 23, p. 326). Ils ont des pièces buccales de type perceur-suceur et se nourrissent des sucs (éléments nutritifs) des jeunes tissus des plants (panicule et cornet). Ils sécrètent une substance collante appelée « miellat », qui peut être recouverte de plaques de moisissure et de fumagine.

Cycle biologique : Ce ravageur n'hiverne pas en Ontario, mais est plutôt porté chaque année par les courants d'air venant du sud où les cultures sont plus avancées. Les premiers individus à arriver au printemps se nourrissent d'orge d'automne, jusqu'à ce que le maïs offre un attrait. Les populations migrantes sont composées uniquement de femelles ailées. Une fois qu'elles sont établies, ces femelles se reproduisent sans s'accoupler et donnent naissance à des nymphes dépourvues d'ailes. Sont ainsi produits des adultes à la fois ailés et non ailés, selon la qualité des éléments nutritifs de la plante. Les pucerons ailés s'envolent ensuite vers les champs de maïs à proximité et pénètrent dans le cornet. On compte plusieurs générations de ce puceron chaque année.

Dommages : L'ampleur des dommages dépend de la taille de la population. Les nymphes et les adultes se nourrissent essentiellement du cornet, le privant d'éléments nutritifs et d'eau. Les symptômes de la présence des pucerons du maïs sont le jaunissement, le flétrissement et l'enroulement des feuilles. Pendant une sécheresse, les symptômes peuvent être amplifiés. Au fur et à mesure que les populations augmentent et que la moisissure envahit le miellat, les surfaces foliaires et les panicules mâles deviennent souvent noires et fuligineuses. Les panicules mâles peuvent devenir collantes, ce qui nuit à la pollinisation. Les pucerons peuvent être vecteurs du virus de la mosaïque nanisante du maïs et du virus du nanisme jaune de l'orge.

Technique de dépistage : Examiner cinq jeux de 20 plants par champ.

Seuil d'intervention : Si l'on compte 400 pucerons par plant sur 50 % des plants entre le stade fin cornet et le début de la floraison mâle, et si les plants souffrent d'un stress causé par la sécheresse, une intervention est nécessaire.

Stratégies de lutte : La lutte chimique n'est justifiée que si les ennemis naturels et les parasites du puceron du maïs sont absents et que si les densités de populations de pucerons dépassent les seuils de nuisibilité économique. Il existe plusieurs agents de lutte biologique qui sont passablement efficaces, notamment certaines guêpes parasites ainsi que les stades adulte et larvaire de la coccinelle et de la chrysope.

Nitidule

Description : Les nitidules adultes, mesurent 4 mm (environ 1/6 po) de longueur, vont du brun foncé au noir et ont deux taches jaune pâle sur chaque élytre (voir planche 24, p. 326).

Cycle biologique : Ce ravageur hiverne à l'état de pupe ou d'adulte dans des débris de végétaux, le plus souvent dans des épis de maïs en décomposition. Les adultes peuvent devenir actifs avant la mi-avril en Ontario. Les femelles pondent leurs œufs en mai et en juin, à proximité ou sur de la végétation en décomposition. On peut trouver des larves dans le sol à la mi-mai. Celles-ci se transforment en pupes à l'intérieur de mottes de terre très compactes. Les adultes émergent en 7–9 jours.

Dommages : Les nitidules ne causent pas de dommages primaires au maïs. Elles se nourrissent plutôt des tissus meurtris et endommagés par les légionnaires, la pyrale du maïs et les oiseaux qui s'attaquent aux pointes des épis. Les adultes se nourrissent des pointes des épis qui sont exposées habituellement durant le stade gonflement ou le stade laiteux. Les adultes peuvent infecter les épis par le Fusarium provenant des résidus de maïs en décomposition.

Technique de dépistage : Les nitidules sont attirées par les sucres en fermentation. Souvent, elles pullulent sur les épis de maïs sucré déjà endommagés par des oiseaux ou d'autres insectes. Inspecter cinq séries de 20 plants dans tout le champ.

Seuil d'intervention : Dans les champs de maïs de semence, une intervention peut être nécessaire si les populations s'élèvent à plus de 10 adultes par pointe d'épi sur 25 % des plants inspectés. La lutte est rarement justifiée dans les cultures commerciales de maïs de grande culture.

Stratégies de lutte : Combattre les insectes, les oiseaux et les maladies dans le champ pour éviter qu'ils n'endommagent la culture. Retirer du champ ou enfouir profondément la matière végétale en décomposition. Les dommages sont moins importants dans les champs où les cultivars possèdent de longues spathes serrées et là où le ver de l'épi du maïs est maîtrisé par des pesticides. La lutte naturelle est normalement assurée par un champignon parasite, le *Beauveria bassiana*. Il n'est habituellement pas rentable d'employer des insecticides.

Maladies

Maladies des plantules

Pourriture des semences, brûlures des plantules et pourriture des racines

Incidence : Des conditions de croissance fraîches ou pluvieuses qui réduisent ou abaissent la germination du maïs ou la croissance des plantules peuvent aussi mener à la pourriture des semences en début de saison, à la fonte des semis et/ou à la pourriture des racines. Un peuplement clairsemé, une levée non uniforme, des trous ou des plants manquants sont les principaux symptômes des infections des graines ou des plantules. Plusieurs champignons peuvent être à l'origine de ces maladies. Le plus souvent, les pathogènes en cause sont *Pythium, Fusarium, Gibberella, Trichoderma* et *Penicillium,* mais il peut aussi s'agir d'autres champignons, notamment *Diplodia* et *Rhizoctonia.* Tous ces organismes sont présents dans les sols en Ontario. Selon l'année et les conditions du champ, leurs répercussions sont de mineures à graves (obligation de reprendre les semis). Les zones basses ou mal drainées du champ sont souvent les premières où les problèmes de maladies apparaissent. Les pourritures des semences et la fonte des semis sévissent davantage dans les champs en semis direct ou dans les champs soumis à un travail réduit du sol, du fait que les épaisses couches de résidus qu'on y trouve maintiennent le sol plus frais et plus humide pendant plus longtemps que dans les sols soumis à une méthode traditionnelle de travail du sol. La fonte des semis survient aussi dans les champs travaillés selon des méthodes traditionnelles lorsque la culture est partie tôt dans des conditions propices à l'éclosion de la maladie ou lorsque les conditions environnementales font en sorte que la semence de maïs reste dans le sol pendant un laps de temps assez long. D'autres facteurs qui retardent la germination et la levée, notamment le compactage du sol et son encroûtement, des semis profonds, etc., peuvent également donner un peuplement clairsemé. La vigueur des plants se trouve souvent réduite chez les plants qui survivent. Il est important de faire la distinction entre les maladies des plantules et d'éventuels problèmes liés aux insectes, aux herbicides et au compactage du sol, par exemple.

Aspect : Les pourritures des semences sont des maladies qui attaquent les semences avant ou peu après la germination, et qui provoquent la pourriture et la mort des semences ou des embryons en croissance. Les semences les plus sensibles aux pourritures sont celles dont la vigueur au départ est faible ou qui ont été endommagées, surtout si les conditions de sol sont fraîches (10–13 °C ou 50–55 °F) et pluvieuses pendant une période prolongée après les semis. Les plantules qui mettent longtemps à lever sont les plus vulnérables aux infections fongiques.

Les brûlures des plantules se divisent en deux groupes, selon qu'elles surviennent avant ou après la levée. En prélevée, les brûlures affectent les jeunes plantules avant qu'elles ne sortent de terre. Les plantules atteintes peuvent mourir ou croître plus lentement que les plantules saines. Les brûlures des plantules en postlevée (qu'on désigne « fonte des semis ») s'attaquent à la racine ou à la partie inférieure des jeunes plantules de la levée au stade 2 ou 3 feuilles.

Les organismes responsables des pourritures des racines infectent le système radiculaire des plantules, y compris les radicelles et les poils absorbants. Les plants atteints peuvent être rabougris ou décolorés, ou manquer de vigueur. Les plantules gravement atteintes peuvent mourir. Les plants malades sont parfois plus sensibles aux pourritures de la tige plus tard dans la saison.

Les semences, plantules et racines infectées par *Pythium* sont le plus souvent molles (mouillées) et de couleur sombre comparativement aux racines infectées par *Fusarium, Gibberella, Diplodia* et *Rhizoctonia,* qui sont

fermes ou ont l'aspect du cuir. La plupart du temps, la couleur des racines fournit une bonne indication de l'organisme ou des organismes présents : un blanc grisâtre correspond à *Diplodia;* une couleur allant du chamois au rose, à *Fusarium* ou à *Gibberella;* une couleur allant du rougeâtre au brun, à *Rhizoctonia;* et un bleu-vert, à *Penicillium* ou à *Trichoderma.*

Cycle de la maladie : *Pythium, Fusarium, Gibberella, Diplodia, Rhizoctonia, Penicillium* et *Trichoderma* vivent et prospèrent tous dans le sol. Dans presque tous les cas, ces organismes peuvent infecter d'autres cultures que le maïs. À l'exception de *Pythium,* tous ces organismes peuvent vivre sur la semence de maïs ou à l'intérieur de celle-ci.

Stratégies de lutte : L'utilisation de semences de maïs ayant un bon taux de germination et une bonne vigueur au départ permet de réduire substantiellement les risques de pourritures des semences et de brûlures des plantules. Les semences qui sont fendillées ou qui ont été endommagées pendant la récolte ou la manutention sont les plus vulnérables à ces organismes et doivent être retirées. Le traitement des semences offre une protection additionnelle aux jeunes plantules vulnérables. Il est recommandé de traiter toute la semence de maïs de semence à l'aide d'un fongicide afin de prévenir en début de saison les problèmes de maladies avant ou après la levée. Pour plus d'information sur les traitements des semences, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.* D'autres techniques de gestion qui minimisent le compactage du sol et débarrassent ce dernier de l'excès d'humidité par un drainage accru peuvent également réduire la gravité des infections.

Maladies foliaires

Anthracnose

Incidence : L'anthracnose a été vue en Ontario et peut devenir grave les années chaudes et pluvieuses. Elle est souvent la première maladie foliaire du maïs à apparaître. Elle se manifeste d'abord sur les feuilles inférieures et monte le long de la plante. Les symptômes disparaissent souvent au fur et à mesure que le plant de maïs amorce sa phase de croissance rapide. Le champignon responsable de l'anthracnose provoque la brûlure des feuilles et la pourriture de la tige. Les producteurs doivent noter où les symptômes de l'anthracnose se sont manifestés sur le feuillage au début de la saison et retourner dans ces zones quelques semaines avant la récolte, afin de faire le dépistage des pourritures des tiges. Les systèmes de travail du sol qui laissent une épaisse couche de résidus de végétaux infectés par l'anthracnose à la surface du sol peuvent aggraver la maladie et en augmenter l'incidence en Ontario.

Aspect : L'anthracnose peut toucher à la fois les feuilles et les tiges. Les principaux symptômes sont les taches sur les feuilles, le dépérissement du sommet du plant et la pourriture des tiges. Les taches sur les feuilles sont ovales (jusqu'à 15 mm ($^3/_5$ po) de long) avec un centre couleur chamois et un contour brun rougeâtre (voir planche 25, p. 326). Les lésions isolées peuvent se joindre, formant ainsi des stries le long du pourtour de la feuille ou de la nervure principale. Il est fréquent que les tissus entourant les zones infectées jaunissent. On peut alors voir à la loupe de petites taches noires (ascervuli) au centre des lésions. Un examen plus attentif révèle la présence de soies noires raides (setae) qui sortent de ces taches noires. La maladie se manifeste d'abord sur les feuilles du bas puis, plus tard, sur les feuilles supérieures. Le dépérissement du sommet du plant peut se produire tard dans la saison, à mesure que les feuilles atteintes flétrissent et meurent; elles donnent l'impression d'avoir été endommagées par le gel.

Cycle de la maladie : Les résidus sont un élément important dans la propagation de l'anthracnose, étant donné que le champignon survit (hiverne) à l'état de mycélium ou de sclérote dans les résidus ou la semence de maïs. La pluie éclabousse les spores contenues dans les résidus de maïs sur les feuilles inférieures et la tige. Pour cette raison, les champs de maïs qui suivent le maïs (la deuxième année de culture du maïs) sont les plus vulnérables aux infections par l'anthracnose, surtout lorsque le temps est doux et pluvieux.

Stratégies de lutte : Le choix de cultivars résistant à la forme foliaire de l'anthracnose peut contribuer à tenir cette maladie en échec. Toutefois, la résistance à la pourriture de la tige causée par l'anthracnose est distincte de la résistance à la forme foliaire de l'anthracnose. La résistance des hybrides à la pourriture de la tige causée par l'anthracnose ne garantit pas la résistance aux infections des feuilles en début de saison. Dans les champs de maïs travaillés selon des méthodes traditionnelles, l'enlèvement des résidus de maïs par le travail du sol diminue les risques d'infection, surtout lorsque le maïs suit le maïs. Dans les champs soumis au semis direct ou à des méthodes de travail réduit du sol, la rotation des cultures (c.-à-d. éviter de cultiver du maïs pendant deux années

consécutives) et l'utilisation d'hybrides résistants sont les deux meilleurs moyens de combattre la forme foliaire de l'anthracnose. Les applications de fongicides ne sont pas rentables dans les champs de maïs, étant donné qu'une seule application ne suffit pas à maîtriser la maladie. Toutefois, dans les champs de maïs de semence, les applications de fongicides peuvent valoir leur pesant d'or.

Dessèchement

Incidence : Le dessèchement a déjà été l'une des maladies foliaires du maïs parmi les plus dévastatrices en Ontario. L'utilisation d'hybrides résistants limite maintenant les pertes de rendement attribuables à cette maladie dans les cultures commerciales de maïs. Toutefois, des pertes considérables continuent d'être enregistrées dans les cultures de maïs de semence là où sont semées des lignées extrêmement sensibles.

Aspect : La maladie se manifeste par de longues stries elliptiques (2 à 15 cm (1 à 6 po)) vert grisâtre ou chamois. Les lésions apparaissent le plus souvent sur les feuilles inférieures (voir planche 26, p. 326). Au fur et à mesure que la maladie progresse, les lésions peuvent se fondre et former de grosses zones brûlées. Il arrive que des feuilles entières soient brûlées. Les pertes les plus graves occasionnées par le dessèchement surviennent lorsque les feuilles au-dessus des épis sont atteintes au moment de la pollinisation ou peu après. La maladie est souvent confondue avec le flétrissement de Stewart (voir la rubrique *Flétrissement bactérien (flétrissement de Stewart, bactériose)*, p. 104).

Cycle de la maladie : Le champignon survit dans les résidus de maïs sous forme soit de spores, soit de filaments mycéliens (mycélium). Les spores du champignon se propagent par le vent ou les éclaboussures d'eau depuis les résidus à la surface du sol aux plants de maïs en croissance. Même si le champignon n'hiverne pas en Ontario, la ceinture de maïs du Midwest américain et les États voisins des Grands Lacs demeurent une importante source de spores. Les plants qui deviennent infectés constituent une source d'infections secondaires qui peuvent se propager à d'autres champs. La propagation de la maladie est favorisée par des températures douces (18–27 °C ou 64–81 °F) et des périodes prolongées de temps humide ou pluvieux.

Stratégies de lutte : Il existe quatre races de pathogènes causant le dessèchement. Or, la plupart des hybrides commerciaux de maïs possèdent une résistance ou une tolérance aux races les plus communes en Ontario. Une augmentation de l'incidence des symptômes du dessèchement dans une région pourrait être une indication de l'apparition d'une nouvelle race et doit de ce fait être signalée. La rotation des cultures et le travail du sol réduisent les niveaux de l'inoculum dans les résidus qui jonchent le sol. Dans les systèmes de travail réduit du sol, la rotation et l'utilisation d'hybrides résistants sont une nécessité. La lutte chimique n'est habituellement pas rentable dans le maïs de grande culture.

Kabatiellose

Incidence : Même si la kabatiellose ne cause normalement que peu de dégâts dans le maïs, la maladie prend de l'ampleur en Ontario à mesure que se répand la pratique de laisser des résidus de maïs dans le champ.

Aspect : La maladie produit des taches rondes ou ovales caractéristiques de 1–4 mm ($^1/_{16}$-$^1/_8$ po) de diamètre, qui ont un centre chamois ou brun et un pourtour brun ou violacé (voir planche 27, p. 326). Ces lésions sont entourées d'un halo jaune translucide visible quand la feuille est tenue face à une source lumineuse. Il arrive que la feuille paraisse brûlée lorsque ces lésions s'amalgament et s'étendent à une bonne partie des tissus de la feuille. La maladie peut être confondue avec des taches foliaires physiologiques non infectieuses ou avec des dommages causés par des insectes.

Cycle de la maladie : L'incidence de la maladie est plus grande là où se pratique la monoculture du maïs et dans les champs soumis à des méthodes de travail réduit du sol, étant donné que le champignon hiverne dans les résidus de maïs. L'évolution de la maladie est favorisée par du temps frais et pluvieux.

Stratégies de lutte : Le choix de cultivars résistants, la rotation des cultures et l'enfouissement propre des résidus de culture contribuent à réduire la gravité de la maladie.

Flétrissement bactérien (flétrissement de Stewart, bactériose)

Incidence : Même si le flétrissement bactérien sévit partout en Ontario, la maladie est surtout préoccupante dans le sud-ouest de la province. Les comtés d'Essex et de Kent, où se trouve la majorité des cultures de maïs de semence, ont tendance à être particulièrement touchés par cette maladie. Des hivers plus doux que la normale dans cette région ont permis aux altises du maïs, qui sont des vecteurs du flétrissement bactérien (flétrissement de Stewart), de survivre en grand nombre.

Aspect : La maladie comporte en Ontario deux phases distinctes, la phase tardive et la phase du flétrissement. La phase du flétrissement touche surtout les lignées de maïs de semence extrêmement sensibles et les hybrides de maïs sucré au début de la saison (de V2 à V4). Le premier signe perceptible de la maladie consiste en de longues stries jaunes qui s'étendent dans le sens de la longueur de la feuille (voir planche 28, p. 326). Ces stries deviennent éventuellement gorgées d'eau et finissent par céder la place à des lésions brunes de tissu mort (nécrotiques). Les bactéries interrompent la circulation de l'eau et des éléments nutritifs dans la plante en obstruant son système vasculaire, ce qui provoque un flétrissement rapide et même la mort du plant. Comme la nouvelle pousse est touchée, le flétrissement et la mort des tissus progressent de haut en bas. Le fait de couper la plante longitudinalement révèle un point végétatif décoloré, pourri ou évidé.

La phase tardive de la maladie, qui se manifeste par la brûlure des feuilles, survient souvent après la floraison mâle et c'est la plus fréquente. Les symptômes comprennent des stries vert pâle à jaunes et des pourtours irréguliers ou sinueux parallèlement aux nervures. Ces stries peuvent s'étendre sur toute la longueur de la feuille. Les feuilles infectées finissent par s'assécher et par brunir. Souvent, les marques laissées par l'alimentation des altises du maïs sont visibles à l'intérieur des lésions. La mort prématurée des feuilles peut abaisser les rendements et donner prise aux pourritures de la tige étant donné que des plants affaiblis y sont plus vulnérables.

Cycle de la maladie : La bactérie hiverne dans l'appareil digestif des altises du maïs au stade adulte, lesquelles se cachent pendant l'hiver dans des zones protégées. Les hivers doux peuvent amener une augmentation des populations d'altises. Les adultes qui hivernent se nourrissent du maïs du stade plantule à celui de cornet et causent chez les cultivars sensibles le flétrissement de la tige qui entraîne la perte totale du plant. Cette situation se produit rarement chez les hybrides, mais à l'occasion chez les parents de maïs de semence sensible. La génération d'altises adultes qui suit émerge après la floraison femelle et provoque des symptômes de flétrissement des feuilles qui sont fréquemment observés chez de nombreux hybrides. La transmission de la maladie aux semences est rare. Le plus souvent, les infections tardives qui surviennent après la floraison femelle sont associées à de fortes populations d'altises. Le maïs sucré est souvent plus sensible que le maïs de grande culture et peut servir de réservoir de bactéries. La maladie frappe souvent les meilleurs champs. Aussi, la fertilité semble-t-elle jouer un rôle. La vulnérabilité à la maladie augmente dans les champs où les concentrations d'azote et de phosphore sont élevées.

Stratégies de lutte : Comme le maïs de grande culture possède une bonne tolérance au flétrissement de Stewart, il ne nécessite aucune mesure de lutte, mais certaines lignées de maïs de semence y sont sensibles et sont cotées en fonction de leur tolérance à la maladie La maîtrise de cette maladie passe par la lutte contre l'altise du maïs. Pour plus d'information sur les méthodes de lutte, voir la rubrique *Altise du maïs*, p. 99.

Cercosporiose du maïs

Incidence : La cercosporiose du maïs prend de l'ampleur dans les États voisins des Grands Lacs et a récemment fait son apparition dans le sud-ouest de l'Ontario. Elle peut entraîner de lourdes pertes par temps chaud, pluvieux et humide.

Aspect : Les symptômes apparaissent sur le feuilles inférieures peu après l'apparition de la panicule mâle. La maladie présente des lésions caractéristiques de forme rectangulaires, étroites, chamois clair et allongées, de 2–7 cm (1–3 po) de long. Ces lésions sont parallèles aux nervures des feuilles. Avec le temps, les lésions deviennent grises et se fondent, tuant ou brûlant les feuilles au complet.

Cycle de la maladie : La cercosporiose du maïs sévit surtout lorsque le maïs suit le maïs dans les champs recouverts d'une couche épaisse de résidus de maïs. Le champignon survit sous forme de filaments mycéliens dans des résidus de maïs. Les spores produites sur les résidus sont dispersées par le vent et les éclaboussures d'eau. Le temps doux et humide favorise la sporulation et la propagation de la maladie.

Stratégies de lutte : Certains hybrides sont tolérants à la maladie. Par ailleurs, la rotation des cultures et le travail du sol réduisent les niveaux d'inoculum dans les résidus à la surface du sol. Dans les systèmes de travail réduit du sol, la rotation et le choix d'hybrides résistants sont nécessaires. La lutte chimique n'est habituellement pas rentable dans le maïs de grande culture.

Rouille

Incidence : Le pathogène responsable de la rouille n'hiverne pas en Ontario, mais provient plutôt du maïs infecté du sud des États-Unis et du Mexique. Les spores de la rouille sont poussées par le vent depuis ces régions jusqu'en Ontario. Ces dernières années, la rouille n'a causé que des pertes économiques négligeables. Par contre, il arrive certains printemps que des fronts orageux transportent les spores qui provoquent des infections en tout début de saison, La maladie est favorisée par une forte humidité et des températures fraîches le soir (14–18 °C), suivies de températures modérées le jour.

Aspect : La rouille se manifeste d'abord par l'apparition de taches ou de mouchetures jaunes sur les deux côtés des feuilles. Ces lésions se transforment en de petites pustules rouge brique qui font éclater la surface de la feuille (l'épiderme) (voir planche 29, p. 327). La couleur rouge brique est le résultat de la libération des spores provenant des lésions ovales ou allongées de 2–10 mm ($^{1}/_{10}$–$^{4}/_{10}$ po) de long. Tout autour de ces lésions, la feuille jaunit. Il se forme des zones nécrotiques où les tissus brunissent et meurent. Dans les cas graves, la feuille entière meurt. Les spores rouge brique noircissent au fur et à mesure qu'elles viennent à maturité, ce qui fait paraître les lésions et la surface des feuilles noires.

Stratégies de lutte : Comme la rouille ne survit pas en Ontario, les pratiques culturales comme le travail réduit du sol et la rotation des cultures n'influencent pas l'évolution de la maladie. Les hybrides de maïs commerciaux possèdent une bonne tolérance à la maladie, mais bon nombre des lignées de maïs de semence et des hybrides de maïs sucré et de maïs de spécialité y sont très sensibles. Habituellement, le recours aux fongicides foliaires n'est pas nécessaire dans le maïs de grande culture, mais il peut être rentable chez les hybrides de maïs de spécialité ou les lignées de maïs de semence extrêmement sensibles.

Charbon commun

Incidence : En Ontario, le maïs peut être infecté par deux types de charbon, le charbon commun et le charbon des inflorescences. Le charbon commun est le plus fréquent en Ontario. Dans les cas graves, plus de 25 % des plants de certains champs peuvent comporter des tumeurs caractéristiques.

Aspect : Le charbon commun hiverne non seulement dans le sol, mais également dans les résidus de maïs. Les spores sont propagées par le vent et les éclaboussures d'eau. Tous les tissus aériens de la plante sont vulnérables, mais l'infection survient le plus souvent dans les zones où les tissus sont en croissance active. L'incidence du charbon augmente dans les champs où les plants ont été endommagés par la grêle, le gel, la sécheresse, les blessures mécaniques, la chute de la panicule mâle, les blessures par les herbicides, les insectes ou l'abrasion par le vent. De grandes quantités d'azote et de fumier favorisent cette maladie.

Des tumeurs grisâtres pouvant atteindre 10 cm (4 po) de diamètre se forment sur la tige, les épis ou les panicules. Des tumeurs plus petites apparaissent souvent sur les feuilles (voir planche 30, p. 327). Les tumeurs sont au départ recouvertes d'une membrane blanche qui finit par éclater et par libérer des spores sous forme de poussière brun foncé ou noire. Des tumeurs dures et sèches se forment sur les feuilles. Les tumeurs du charbon remplacent les grains. Contrairement au charbon commun, le charbon des inflorescences se manifeste uniquement sur les épis ou les panicules mâles (ou les deux) (voir planche 31, p. 327).

Cycle de la maladie : Les spores qui s'échappent des tumeurs sont bien adaptées aux conditions de l'Ontario. Elles survivent dans le sol et les résidus de culture pendant de nombreuses années. Le printemps, ces spores germent pour produire de nouvelles spores qui infecteront les zones en croissance rapide ou les parties endommagées des plants. Les tumeurs qui se forment sont une source de spores qui infectent d'autres plants. La propagation de la maladie est favorisée par les averses de pluie, de forts taux d'humidité et des températures élevées.

Stratégies de lutte : La plupart des hybrides de maïs sont suffisamment résistants au charbon pour résister à de sérieuses épidémies. Toutefois, on retrouve le charbon dans la plupart des champs. Le meilleur moyen

de se prémunir contre le charbon est de minimiser les blessures mécaniques et les dommages causés par les herbicides, tout en maintenant un programme de fertilité équilibré. La rotation des cultures et le travail du sol sont de peu de secours, étant donné que les spores peuvent survivre pendant longtemps dans le sol.

Pourritures de la tige

Incidence : Si la culture est soumise à un stress, les champignons responsables des pourritures de la tige sont encore plus dévastateurs. Les facteurs de stress qui contribuent à une augmentation de l'incidence des pourritures de la tige comprennent les conditions pluvieuses ou sèches, les températures fraîches le jour comme le soir, du temps couvert, la présence de maladies foliaires (comme la rouille ou le flétrissement de Stewart); les dommages aux feuilles et aux épis causés par la grêle, les oiseaux et le gel, une pollinisation incomplète, un déséquilibre nutritif, des dommages causés par les insectes (notamment par la pyrale du maïs), de fortes densités de peuplement, la sensibilité de l'hybride et de mauvaises conditions de sol. Tous ces facteurs peuvent augmenter la vulnérabilité d'un hybride de maïs aux pourritures de la tige.

La répartition et la prévalence des maladies responsables des pourritures de la tige et de l'épi peuvent varier d'une année à l'autre, mais ces maladies sont présentes la plupart des années, même si leur incidence peut être faible. En Ontario, les dégâts attribuables aux pourritures de la tige sont essentiellement le fait de trois champignons : *Anthracnose*, *Gibberella* et *Fusarium*. Toutefois, les champignons *Diplodia* et *Pythium* ont également tous deux été vus en Ontario. Voir les rubriques qui suivent pour plus de détails sur chacune de ces maladies responsables de la pourriture de la tige.

Répercussions des pourritures de la tige : Même si les divers champignons pathogènes provoquent des symptômes différents, ils produisent tous le même effet ultime sur le plant de maïs, à savoir de nuire au remplissage du grain et à l'intégrité des tiges, et d'accélérer la sénescence. Les champignons responsables des pourritures de la tige nuisent à la circulation des éléments nutritifs de trois façons :

1. Les sucres (les photosynthétats) qui seraient produits par la photosynthèse ou les glucides qui se trouvent dans les racines et la tige sont redirigés vers le champignon plutôt que vers l'épi. Ces éléments nutritifs permettent au champignon de croître et de se propager.
2. L'intégrité de la tige est compromise. Pour répondre aux besoins en éléments nutritifs à la fois de l'épi en croissance et des pathogènes, le plant de maïs commence à s'auto-détruire en transportant les glucides solubles des racines et de la tige. Les problèmes surviennent lorsque le plant de maïs ne parvient plus à répondre aux besoins en éléments nutritifs de l'épi en formation et est de ce fait forcé de déplacer plus de glucides que d'habitude. Il en résulte une tige plus faible (vulnérable à la verse), et une moins grande résistance aux champignons responsables des pourritures de la tige.
3. Enfin, l'infection et la colonisation obstruent bon nombre des voies qui servent normalement à la circulation des éléments nutritifs. Les pertes de rendement (généralement 10–20 %) découlent du mauvais remplissage des épis et des pertes à la récolte occasionnées par la verse.

Dépistage des pourritures de la tige

Deux méthodes ou techniques sont utilisées pour faire le dépistage des pourritures de la tige.

Le test de la poussée

1. Choisir au hasard 20 plants en cinq points différents du champ, soit un total de 100 plants.
2. Pousser la partie supérieure du plant et voir si le plant verse ou non.

Le test de la pincée

1. Choisir au hasard 20 plants en cinq points différents du champ, soit un total de 100 plants.
2. Enlever les feuilles inférieures et pincer la tige au-dessus des racines échasses.
3. Noter le nombre de tiges pourries.

Si 10–15 % des plants ont versé, devancer la récolte. Les éventuels frais de séchage supplémentaires seront compensés par la plus grande facilité avec laquelle se fera la récolte et la moins grande quantité de maïs qui sera laissée dans le champ.

Stratégies de lutte contre les pourritures de la tige: La lutte contre les pourritures de la tige passe par une réduction des facteurs de stress, notamment, par :

- le choix d'hybrides ayant une bonne résistance ou tolérance aux maladies foliaires et aux pourritures de la tige;
- la lutte contre des insectes comme la pyrale du maïs;

- une lutte efficace contre les mauvaises herbes;
- des densités de peuplement adéquates;
- un programme de fertilisation équilibré en N et en K;
- la rotation des cultures;
- le travail du sol.

Inspecter les champs pour déterminer l'ampleur des dommages causés par les pourritures de la tige. Procéder le plus tôt possible à la récolte dès que 10-15 % des tiges sont pourries. La rotation des cultures réduit l'incidence des pourritures de la tige.

Anthracnose se manifestant par la pourriture de la tige

Aspect : L'anthracnose se manifestant par la pourriture de la tige est facile à identifier. Elle se manifeste par des plaques ou des stries étendues et brillantes de brun foncé à noir à la surface de la tige (voir planche 32, p. 327). Ces plaques luisantes ou décolorées sont souvent observées à la base de la tige. Le fait de couper la tige longitudinalement révèle un cœur décoloré et pourri. Un autre symptôme qui est associé à cette maladie est le dépérissement du sommet du plant. En général, ce symptôme apparaît fin août, début septembre, au moment ou les plants de maïs commencent à flétrir et à mourir graduellement de haut en bas. On observe alors la mort prématurée des tissus au-dessus de l'épi alors que les tissus en deçà de l'épi restent verts. L'examen des tiges dans ces zones mortes montre les mêmes zones noires luisantes qui se trouvent à la base de la tige. Les plants qui présentent le symptôme du dépérissement du sommet du plant se trouvent dans des zones du champ qui ont été soumises à un stress en fin de saison.

Cycle de la maladie : Le champignon responsable de la forme de l'anthracnose causant la pourriture de la tige survit dans les résidus de maïs et cause donc davantage de problèmes la deuxième année d'une culture de maïs. Du temps doux, pluvieux et humide favorise la propagation de cette maladie.

Pourritures de la tige causées par *Gibberella*, *Fusarium* et *Diplodia*

Aspect : Ces trois champignons causent tous les symptômes généraux de la pourriture de la tige, notamment le flétrissement et la mort des plants. Les feuilles atteintes deviennent gris vert comme si elles avaient souffert du gel. Les trois types de pourritures causent des lésions ou taches externes sombres aux nœuds inférieurs. La pourriture de la tige causée par Diplodia, appelée pourriture sèche de la tige, produit de petites taches noires (pycnides) ancrées à l'intérieur de l'écorce de la tige. Ces taches sont difficiles à enlever, ce qui permet de les distinguer des petites taches rondes et noires aux nœuds inférieurs produites par *Gibberella*, qui elles sont faciles à gratter de la surface de la tige (voir planche 33, p. 327). L'infection par *Gibberella*, appelée fusariose de la tige, se manifeste par les tissus de la mœlle de la tige qui deviennent filamenteux et prennent une coloration allant du rose au rouge. Quant aux symptômes de la pourriture de la tige causée par *Fusarium*, appelée pourriture fusarienne de la tige, ils se présentent sous forme de lésions de brun clair à noir près des nœuds. À l'intérieur de la tige, le tissu pourri de la mœlle prend une couleur rose saumon.

Cycle de la maladie : Voir la rubrique *Pourritures et moisissures de l'épi*, p. 108, relativement à chaque maladie de la tige.

Piétin brun

Aspect et cycle de la maladie : Le piétin brun, une pourriture de la tige causée par *Pythium*, produit les mêmes symptômes généraux sur la partie aérienne du plant que ceux qui sont associés aux autres organismes causant des pourritures de la tige. *Pythium* entre dans une catégorie distincte de champignons (qui comprend aussi *Phytophthora*), appelés « oomycètes » ou « champignons aquatiques » en raison de leur préférence pour les milieux humides. Une caractéristique unique de ce groupe de champignons est la production de spores mobiles qui peuvent migrer ou se déplacer à travers un film d'eau dans les sols saturés. Les spores (étape de l'infection) sont capables de se déplacer physiquement vers les racines des plants de maïs et, une fois qu'ils y ont pénétré, de provoquer la maladie. Le feutre mycélien qui se forme à la base des plants de maïs atteints de piétin brun n'est pas différent de ceux qui sont attribuables aux autres organismes responsables des pourritures de la tige. Il se forme dans ce feutre mycélien des points noirs qui sont en fait des structures qui hivernent ou des moisissures. Par contre, quand on coupe longitudinalement la base de la tige et les racines, les tissus infectés par le piétin brun paraissent mouillés et spongieux et se désintègrent à la base des racines (il s'agit d'une « pourriture aqueuse »).

MALADIES

Pourritures et moisissures de l'épi

Pour de l'information détaillée sur l'incidence et les cycles de chacune des maladies causant la pourriture de l'épi, voir les rubriques qui suivent.

Stratégies de lutte contre les pourritures de l'épi : Le maïs atteint de moisissure blanche peut contenir des toxines ou non, mais le maïs atteint de moisissure rose ou violette est le plus souvent contaminé. Les pourritures causées par Fusarium peuvent s'établir après la pollinisation dans des blessures occasionnées par des insectes ou des oiseaux. Du temps doux et pluvieux ou des rosées prolongées à un moment ou à un autre après la pollinisation peuvent provoquer la pourriture des épis qui sont endommagés.

Les moisissures vertes (*Penicillium*) et noires (*Cladosporium* ou *Alternaria*) ne posent normalement pas de problèmes. Toutefois, lorsqu'elles prolifèrent, elles peuvent être toxiques aux animaux. La propagation des pourritures de l'épi s'arrête lorsque le maïs est sec ou ensilé, mais le niveau des toxines nocives déjà présentes reste inchangé. Lorsque le maïs est entreposé dans des cribs, ces champignons continuent de croître sous des conditions météorologiques favorables. Les champignons continuent de produire des toxines jusqu'à ce que la teneur en eau du maïs s'abaisse sous les 20 %. Voir la fiche technique du MAAARO, *Fusariotoxicoses du porc : Prévention et lutte*, commande n° 97-066, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/index.html.

Il est difficile de prévenir les pourritures et moisissures de l'épi étant donné que ces maladies sont très étroitement liées aux conditions météorologiques. Par ailleurs, même s'il existe certains hybrides tolérants, aucun n'offre une résistance complète. La rotation des cultures peut réduire l'incidence de *Diplodia*. Il a été démontré que certaines pratiques culturales permettent plus ou moins de prévenir les pourritures de l'épi et des grains. Il est possible de minimiser ces maladies par une récolte à point nommé et de bonnes méthodes de séchage et d'entreposage.

Devancer la récolte du maïs dès que le champ comporte 10–15 % de tiges pourries. On minimise ainsi les pertes dues au bris des tiges et à la verse.

En présence de pourriture de l'épi, il est conseillé de prendre les précautions suivantes relativement à l'entreposage et à l'alimentation des animaux :

- Procéder à la récolte le plus tôt possible.
- Si des dommages par les oiseaux sont évidents, récolter d'abord les rangs qui ne sont pas endommagés et garder et manipuler les grains provenant de ces champs séparément.
- Régler le matériel de récolte de manière à minimiser les dommages au maïs. Nettoyer à fond le maïs pour le débarrasser des morceaux de rafles, des petits grains et des particules fines.
- Refroidir le grain après le séchage.
- Nettoyer les cellules de stockage avant d'y entreposer le nouveau grain.
- Inspecter souvent le grain entreposé pour en vérifier la température et déceler les taches d'humidité ainsi que la présence d'insectes et de moisissures.
- Maîtriser les insectes qui envahissent le maïs entreposé.
- Faire preuve de prudence au moment de servir aux animaux du maïs moisi, surtout aux porcs. Les moisissures roses ou rougeâtres, sont particulièrement toxiques. Faire analyser les échantillons suspects pour vérifier la présence de toxines.
- Éviter d'ensiler dans des cribs du maïs atteint de pourriture rose de l'épi.

Voir la liste des laboratoires à l'annexe F, *Laboratoires capables d'effectuer l'analyse d'aliments pour animaux*, p. 309.

Pourriture fusarienne de l'épi

Incidence : La pourriture fusarienne de l'épi est une autre forme de pourriture de l'épi qui est fréquente en Ontario. Contrairement à la fusariose de l'épi (causée par *Gibberella*), la pourriture fusarienne (causée par *Fusarium*) infecte les grains tout autour de la rafle, que les grains soient sains ou qu'ils aient été endommagés notamment par la pyrale du maïs ou les oiseaux. Les soies sont sensibles aux infections pendant les 5 jours qui suivent leur apparition.

Aspect : L'infection par *Fusarium* produit une moisissure de blanche à rose ou de couleur saumon (voir planche 35, p. 328). Il arrive qu'on observe des stries blanches ou un rayonnement à la surface des grains infectés. Même si de nombreuses espèces de champignons appartenant au genre *Fusarium* peuvent être responsables de ces symptômes, la principale espèce en cause en Ontario est *Fusarium verticillioides* (auparavant *Fusarium moniliforme*).

Cycle de la maladie : *Fusarium* survit dans les débris de maïs. Ce champignon est préoccupant du fait qu'il produit une toxine appelée fumonisine. Or, il a été prouvé que cette substance est cancérogène pour les humains. Les conditions environnementales qui favorisent la maladie sont du temps doux et pluvieux pendant les 2-3 semaines qui suivent l'apparition des soies.

Fusariose de l'épi

Incidence : La fusariose de l'épi est la forme de moisissure de l'épi la plus fréquente et la plus grave en Ontario. Elle est causée par *Gibberella zeae*, qui correspond à la phase reproductive sexuée de Fusarium graminearium. Ce champignon infecte non seulement le maïs mais également les petites céréales comme le blé. Bien des phytopathologistes estiment que les années où l'incidence de la fusariose est forte dans le blé, on peut s'attendre à ce que la fusariose de l'épi fasse davantage de dégâts dans le maïs.

Aspect : Même si le champignon peut produire un feutre blanc qui peut être facilement confondu avec un symptôme de pourriture fusarienne, il reste que la fusariose est facilement identifiable au moment où elle produit une moisissure rouge ou rose foncée (violacée) caractéristique (voir planche 34, p. 327).

Cycle de la maladie : L'infection gagne d'abord les canaux des soies, si bien que, la plupart du temps, elle se manifeste d'abord à la pointe de l'épi. Dans les cas graves, le gros de l'épi peut être recouvert d'un feutre mycélien. Les soies sont plus vulnérables de 2 à 10 jours suivant leur apparition. Durant cette période, du temps frais et pluvieux est propice aux infections.

> ***Attention :*** La fusariose de l'épi est une maladie d'importance économique, non seulement parce qu'elles risque d'entraîner des pertes de rendement et de qualité, mais également parce que *Gibberella zeae* et *Fusarium graminearum* produisent deux mycotoxines graves en Ontario, le déoxynivalénol (vomitoxine ou DON) et la zéaralénone. Ces mycotoxines sont particulièrement redoutées par les producteurs de porcs et d'autres animaux d'élevage étant donné qu'elle peuvent nuire à leurs animaux. Les aliments qui renferment même de faibles concentrations de vomitoxine (1 ppm) peuvent abaisser le gain de poids et amener les porcs à refuser de s'alimenter. La zéaralénone est un œstrogène et amène des problèmes de reproduction, notamment l'infertilité et l'avortement spontané du bétail, particulièrement des porcs. Les céréales fourragères qui proviennent d'un champ dont 5 % des épis sont infectés par la fusariose devraient être soumis à des tests de dépistage de ces toxines. Voir l'annexe F, *Laboratoires capables d'effectuer l'analyse d'aliments pour animaux*, p. 309, pour la liste des laboratoires.

Pourriture sèche de l'épi

Incidence : Des trois principaux types de pourriture qui touchent l'épi en Ontario, la pourriture sèche de l'épi est le moins fréquent. La pourriture sèche de l'épi est causée par *Diplodia maydis* et est favorisée par des conditions fraîches et pluvieuses au stade du remplissage des grains.

Aspect : Le symptôme caractéristique sur l'épi est une moisissure blanche qui commence à la base de l'épi et qui finit par couvrir et faire pourrir l'épi au complet. De la moisissure dans laquelle sont noyées de petites protubérances noires (des pycnides) peut aussi se former sur les spathes. Les pycnides sont les organes reproducteurs du champignon; elles produisent de nouvelles spores. Contrairement à *Gibberella* et à *Fusarium, Diplodia* ne produit pas de toxines connues.

Cycle de la maladie : Le champignon hiverne dans les débris de maïs laissés à la surface du sol. Les spores (conidies) qui sont produites pendant les épisodes de pluie peuvent infecter les soies et les spathes ou pénétrer par les tissus endommagés par les oiseaux ou les insectes. Les épis sont particulièrement vulnérables 3 semaines plus tard.

Autres problèmes liés à la culture du maïs

Froid

Froid en début de saison

Les dommages par le gel en mai ou en juin portent généralement peu à conséquence, pourvu que le point végétatif soit encore sous la surface du sol, ce qui est le cas jusqu'à ce que le jeune plant atteigne plus ou moins le stade 6 feuilles. Sur les plants plus avancés et/où lorsque les dommages sont plus graves, fendre les tiges pour voir si le point végétatif a été endommagé. Cette vérification prend un certain temps, puisqu'il faudra probablement attendre 3-

5 jours après l'épisode de gel pour évaluer avec précision l'ampleur des dégâts et vérifier si les points végétatifs sont sains (blancs jaunâtres et fermes) ou constater la reprise de la croissance foliaire.

Dans certains cas, il arrive que des tissus gelés se décolorent et finissent par prendre la même couleur que la paille plusieurs jours après le gel. Ces tissus peuvent former un « nœud » qui peut nuire à l'expansion des tissus non endommagés qui se situent en deçà du cornet (voir planche 36, p. 328). On a parfois l'impression que le fait de couper ces nœuds en fauchant le champ aide les plants à se remettre, mais le résultat est purement esthétique. Selon des essais menés au fil des ans dans des champs de maïs ayant souffert du gel, le fauchage des champs donne l'impression qu'il aide les plants à verdir, mais les sections non fauchées des mêmes champs se sont souvent remises aussi rapidement et ont donné des rendements égaux sinon supérieurs à ceux des sections fauchées.

Il y a très peu de moyens de protéger la culture contre le risque de gel. Voici néanmoins un aperçu des facteurs de gestion qui augmentent les risques de dommages par le gel en cas de baisse de température :

- sarclage des entre-rangs;
- épandage d'azote en bandes latérales (là où le sol est dérangé);
- épandages d'herbicides;
- présence de mauvaises herbes;
- épaisse couche de résidus laissés par la culture précédente.

Si la météo prévoit un risque de gel, les producteurs peuvent choisir de retarder le sarclage des entre-rangs, l'épandage de l'azote en bandes latérales ou les applications d'herbicides jusqu'à ce que les températures se radoucissent. Tout ce qui peut déranger le sol en surface contribue à introduire davantage d'air dans le sol et à isoler les plants de maïs de la chaleur contenue dans la masse de sol. Il s'ensuit une augmentation des risques de dommages par le gel. De la même façon, les résidus de culture et les mauvaises herbes agissent comme un obstacle au transfert de la chaleur du sol vers les plants de maïs. Par ailleurs, les sols secs sont plus vulnérables aux dommages par le gel, étant donné qu'ils sont moins en mesure de retenir la chaleur le jour, ce qui réduit la quantité de chaleur pouvant être transférée aux plants de maïs pour les protéger pendant la nuit.

Froid en fin de saison

Des températures froides au stade du remplissage du grain en août et septembre peuvent amener des baisses de rendement et de qualité. L'ampleur des pertes dépend du stade phénologique du maïs et des températures enregistrées.

Tableau 3–28.
Risques estimatifs de baisse du rendement et de la qualité du maïs-grain associés aux dommages causés par le gel en fin de saison

Stade de croissance de la culture	Dommages par le gel	Perte de rendement en grain estimative	Problèmes de qualité du grain
Mi-pâteux	Plant au complet	40 %	Graves
Mi-pâteux	Feuilles seulement	25 %	Graves
Début de l'apparition de la dent	Plant au complet	25 %	Moyens
Début de l'apparition de la dent	Feuilles seulement	15 %	Moyens
Ligne de maturité ½	Plant au complet	10 %	Mineurs
Ligne de maturité ½	Feuilles seulement	0–5 %	Inexistants

Nota : Ce tableau se veut un guide; les différences entre hybrides, la vigueur d'ensemble du plant au moment du gel et les températures subséquentes ont toutes une influence sur le rendement en grain et la qualité du grain.

Lorsque les températures tombent à 0 °C (32 °F), le gel endommage d'abord les feuilles, ce qui met un terme à la photosynthèse, réduit le remplissage du grain et a souvent des répercussions négatives sur la vigueur de la tige. Toutefois, tant que les températures de l'air ne tombent pas sous les –2 °C (28 °F), les tissus de la tige restent viables et les éléments constituant la tige sont mobilisés pour remplir l'épi le plus possible. Si, par contre, les températures chutent sous les –2 °C (28 °F), à la fois les feuilles et les tiges peuvent être endommagées, ce qui met un terme à la fois à la photosynthèse et à la remobilisation des éléments nutritifs. Le remplissage des grains est alors stoppé et le point noir apparaît dans le grain. Le tableau 3–28, *Risques estimatifs de baisse du rendement et de la qualité du maïs-grain associés aux dommages causés par le gel en fin de saison*, ci-dessus, décrit les risques potentiels sur les plans du rendement et de la qualité du maïs-grain liés à différents niveaux de dommages dus au gel.

En général, les producteurs reconnaissent que le début de l'apparition de la dent correspond au point tournant à partir duquel le maïs peut supporter les dommages aux feuilles causés par le gel sans qu'il n'y ait de grandes répercussions sur le rendement en grain.

Ce stade est caractérisé par l'apparition d'un creux au sommet du grain, qui prend la forme d'une dent, à tout le moins dans la partie inférieure de la rafle.

Même en l'absence de dommages par le gel, les producteurs craignent que plusieurs nuits froides d'affilée ne compromettent le remplissage du grain. Dans une étude menée à l'Université de Guelph, M. Thys Tollenaar a constaté que les nuits froides où les températures étaient tombées à 2 °C, la photosynthèse et la vitesse de remplissage du grain s'étaient trouvées réduites de 50 %. Toutefois, une fois soumis à des températures plus clémentes, les mêmes plants avaient repris leur activité et affichaient des taux de croissance comparables à ceux des plants qui n'avaient pas du tout été exposés aux températures froides. Pourvu que le maïs puisse échapper à des dommages graves par le gel durant les nuits froides, le remplissage du grain devrait se poursuivre après le retour des températures normales.

Dans certains cas, les dommages par le froid empêchent les producteurs de récolter le maïs sous forme de grain et les obligent à le récolter comme ensilage. Différents points importants sont à considérer au niveau de la gestion de l'ensilage. À la suite d'un gel, le maïs d'ensilage qui a gelé avant que la ligne de maturité n'atteigne la moitié de la hauteur du grain (ligne de maturité ½) risque de renfermer trop d'humidité pour se prêter à l'ensilage. Idéalement, dans les cas de gel, la récolte de maïs doit être retardée jusqu'à ce que le plant entier atteigne la teneur en eau souhaitée pour l'ensilage.

Chaleur

Le stress dû à la chaleur est différent du stress dû à la sécheresse. Le maïs peut habituellement tolérer des températures aussi élevées que 38 °C (100 °F) avant de subir des dommages, dans la mesure où il n'est pas en même temps soumis à la sécheresse. Les sensibilités à la température et à la sécheresse varient d'un hybride à l'autre. Les hybrides tolérant la sécheresse peuvent donner des résultats décevants; ils ne constituent sans doute pas un bon choix les saisons normales.

Inondation

Un sol inondé impose un stress au plant en privant les racines d'un approvisionnement en oxygène. Les plants plus jeunes meurent s'ils sont submergés dans l'eau pendant plus de 5 jours, particulièrement si le temps est doux. Si les températures sont élevées, la mort peut survenir en quelques jours seulement du fait que les processus végétaux se trouvent accélérés et que les racines ont alors grandement besoin d'oxygène. Si le temps est plus frais, les plants submergés peuvent survivre jusqu'à une semaine. Passé le stade 8 feuilles, les plants de maïs peuvent tolérer d'être submergés dans l'eau pendant plus de 8 jours, mais peuvent alors être plus susceptibles à la maladie et peuvent voir leur croissance racinaire ralentie pendant la durée de l'inondation. Les pertes de rendement dues aux inondations sont plus graves pour les plants submergés immédiatement avant ou pendant les floraisons mâle (formation de la panicule) et femelle (apparition des soies). Les plants qui sont aux stades végétatifs de 10–16 feuilles et/ou durant la période de remplissage du grain réagissent peu aux inondations.

Sécheresse

Une culture de maïs a besoin d'environ 50 cm d'eau pour produire des rendements élevés. Cette eau provient de l'eau emmagasinée dans le sol, des précipitations ou de l'eau d'irrigation.

Le manque d'eau fait flétrir les feuilles et donne aux plants une couleur grisâtre (voir planche 1, p. 321, et planche 37, p. 328). C'est entre le moment de la formation de la panicule mâle et celui de l'apparition des soies que le maïs souffre le plus de la sécheresse et que celle-ci peut occasionner des pertes de rendement si le maïs est soumis à un autre stress (voir figure 3–3, *Manque d'eau*, p. 112). Pendant les stades végétatifs qui suivent (V8–V14), la sécheresse peut en fait être bénéfique aux plants puisqu'elle force les racines à s'enfoncer rapidement dans le sol. Par contre, une période de sécheresse durant l'apparition des soies peut nuire à la pollinisation et empêcher les soies d'apparaître. Quant à une sécheresse après le stade de l'apparition des soies, elle peut nuire au remplissage des grains.

Grêle

Les champs de maïs endommagés par la grêle peuvent présenter une surface foliaire réduite, des épis et des tiges meurtris et, dans des cas graves, des tiges brisées (voir planche 38, p. 328). Les pertes de rendement dues à la grêle dépendent du stade de la culture au moment où la grêle se produit et de l'ampleur de la défoliation. Les pertes de rendement les plus grandes surviennent lorsque le maïs est défolié durant la formation de la panicule mâle. Les plants plus jeunes peuvent voir leur croissance et leur développement retardés par la grêle, sans toutefois que les rendements n'en souffrent beaucoup. La défoliation des plants qui sont presque à maturité cause en général des pertes de rendement négligeables. Consulter le tableau 3–29, *Pourcentage estimatif de pertes de rendement dans le maïs-grain par suite de la défoliation à divers stades de croissance*, p. 113, pour évaluer les pertes de rendement

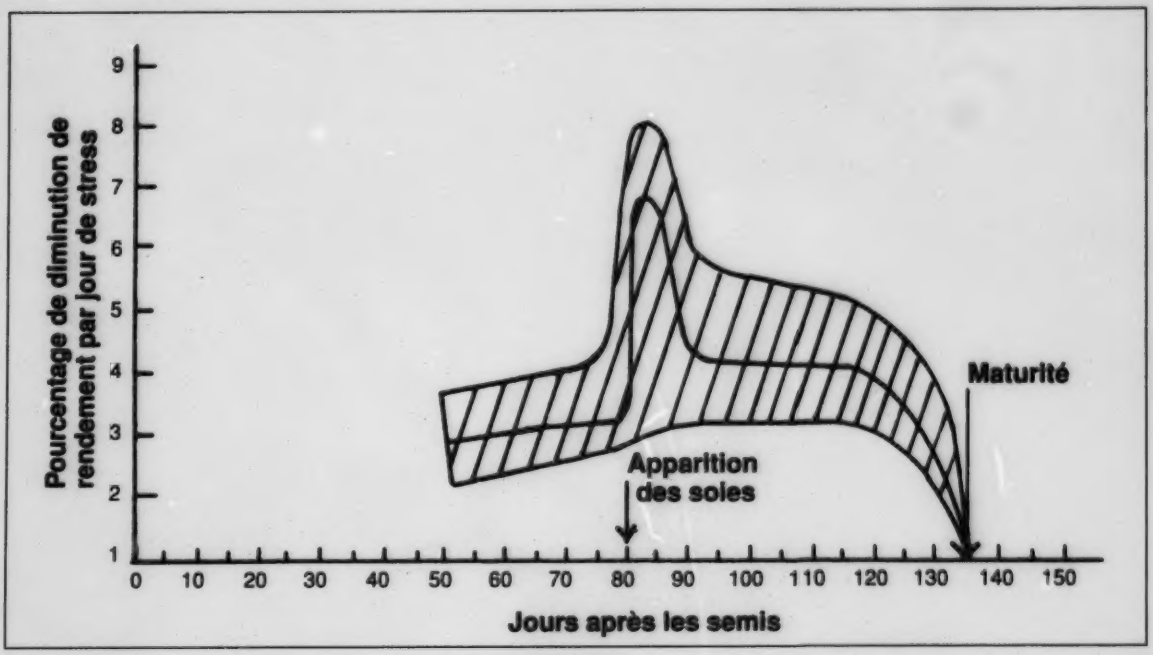


Figure 3–3.
Manque d'eau

Présentation schématique du lien entre l'âge de la culture et le pourcentage de diminution de rendement attribuable à une journée de stress hydrique. Les lignes du haut et du bas représentent les réductions de rendement les plus fortes et les plus faibles obtenues au cours des expériences. La ligne du centre représente la réduction moyenne. Source : *Corn and Corn Improvement* (1988). Sprague et Dudley, rédacteurs.

attribuables aux dommages par la grêle. Les dommages par la grêle peuvent par ailleurs offrir une porte d'entrée à des maladies comme le charbon.

Oiseaux

Les oiseaux peuvent endommager les plantules en train de lever. Toutefois, les dommages les plus graves touchent le grain en août et en septembre (voir planche 39, p. 328). Les oiseaux mangent les grains à même la rafle, ce qui cause des pertes de rendement directes. Les dommages aux grains peuvent par la suite offrir une porte d'entrée aux moisissures. Les dommages causés par les oiseaux peuvent être facilement confondus avec les dommages aux plantules causés par le ver-gris noir ou les dommages aux épis causés par les sauterelles. Des bruiteurs comme les AV Alarm®, des canons au propane, des détonations et la sirène de marque Phœnix ainsi que des enregistrements de cris d'oiseaux en détresse peuvent réussir à tenir les oiseaux à distance si plus d'une technique est utilisée et que les réglages ou les sources de bruit sont changés fréquemment. Si les oiseaux ou les animaux sauvages causent passablement de dégâts, communiquer avec le ministère des Richesses naturelles pour connaître les méthodes de lutte envisageables.

Blessures occasionnées par les herbicides

Les herbicides risquent toujours de causer des dommages à une culture. Certains herbicides radiculaires (appliqués en présemis ou en prélevée) risquent d'être éclaboussés sur les feuilles ou d'être absorbés par les racines. Dans le cas des herbicides de postlevée, les dommages surviennent pour la plupart au moment du traitement ou peu après. La dérive d'un herbicide sur une culture voisine non visée par le traitement est une autre source possible de dommages lorsque la culture non visée est sensible au produit pulvérisé. Le chevauchement des surfaces pulvérisées est une autre source de dommages aux cultures.

L'étendue et la gravité des dégâts sont influencées par le stade de croissance de la culture, son exposition à un stress, les conditions météorologiques, le cultivar, ainsi que les produits et adjuvants qui sont ajoutés au mélange. Lorsque la culture cible est soumise à un stress, celle-ci n'est pas toujours à même de métaboliser l'herbicide suffisamment vite pour éviter d'être endommagée. Le type d'herbicide (son mode

Tableau 3–29.
Pourcentage estimatif de pertes de rendement dans le maïs-grain par suite de la défoliation à divers stades de croissance[1]

	Défoliation (en %)																		
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Stade de croissance[2]	Perte de rendement (en %)																		
7 feuilles	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5	5	6	7	8	9	9
8 feuilles	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	5	5	6	6	7	8	9	10	11
9 feuilles	0	0	0	1	1	2	2	3	4	5	6	6	7	7	9	10	11	12	13
10 feuilles	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	9	11	13	14	15	16
11 feuilles	0	0	1	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22
12 feuilles	0	0	1	2	3	4	5	7	9	10	11	13	15	16	18	20	23	26	28
13 feuilles	0	1	1	2	3	4	6	8	10	11	13	15	17	19	22	25	28	31	34
14 feuilles	0	1	2	3	4	6	8	10	13	15	17	20	22	25	28	32	36	40	44
15 feuilles	1	1	2	3	5	7	9	12	15	17	20	23	26	30	34	38	42	46	51
16 feuilles	1	2	3	4	6	8	11	14	18	20	23	27	31	36	40	44	49	55	61
17 feuilles	2	3	4	5	7	9	13	17	21	24	28	32	37	43	48	53	59	65	72
18 feuilles	2	3	5	7	9	11	15	19	24	28	33	38	44	50	56	62	69	76	84
19–21 feuilles	3	4	6	8	11	14	18	22	27	32	38	43	51	57	64	71	79	87	96
Floraison mâle	3	5	7	9	13	17	21	26	31	36	42	48	55	62	68	75	83	91	100
Floraison femelle	3	5	7	9	12	16	20	24	29	34	39	45	51	58	65	72	80	88	97
Brunissement des soies	2	4	6	8	11	15	18	22	27	31	36	41	47	54	60	66	74	81	90
Pré-gonflement	2	3	5	7	10	13	16	20	24	28	32	37	43	49	54	60	66	73	81
Gonflement	2	3	5	7	10	13	16	19	22	26	30	34	39	45	50	55	60	66	73
Début laiteux	2	3	4	6	8	11	14	17	20	24	28	32	36	41	45	50	55	60	66
Laiteux	1	2	3	5	7	9	12	15	18	21	24	28	32	37	41	45	49	54	59
Fin laiteux	1	2	3	4	6	8	10	12	15	18	21	24	28	32	35	38	42	46	50
Pâteux mou	1	1	2	2	4	6	8	10	12	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41
Début apparition de la dent	0	0	1	1	2	3	5	7	9	11	13	15	18	21	23	25	27	29	32
Apparition de la dent	0	0	0	1	2	3	4	6	7	8	10	12	14	15	17	19	20	21	23
Dent formée	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Presque à maturité	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	5	6	6	7	7	8
Maturité	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[1] Tableau adapté d'un document intitulé *Corn Loss Instruction* (rév. 1994) du National Crop Insurance Services et reproduit avec l'autorisation de cet organisme.

[2] Déterminé d'après le nombre de feuilles comptées suivant la méthode de la feuille recourbée (c.-à-d. quand 40–50 % de la feuille est sortie du cornet et que la pointe de la feuille pointe plus bas qu'à l'horizontale).

d'action) est un facteur important dans la manière dont les cultures y réagissent. En général, même si les dommages causés par les herbicides de contact peuvent sembler pires, les herbicides systémiques ont des effets plus prolongés et plus nocifs, et peuvent de ce fait être plus dommageables à la culture. Toujours lire sur l'étiquette les précautions à prendre pour que la culture souffre le moins possible d'un traitement.

Pour en savoir plus long, voir la fiche technique du MAAARO, *Classes de modes d'action des herbicides*, commande n° 00-062, ou visiter le site Web du Ministère au www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/index.html.

Types particuliers de dommages par les herbicides

Pour connaître les appellations commerciales des herbicides, consulter la fiche technique du MAAARO, *Classes de modes d'action des herbicides*, commande n° 00-062, ou la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

AUTRES PROBLÈMES LIÉS À LA CULTURE DU MAÏS

Dinitroaniline (p. ex. trifluraline, pendiméthaline)
La planche 40, p. 329, illustre les dommages causés au maïs par une forte dose de dinitroaniline ou la lente dégradation de ce produit dans le sol. Les symptômes courants comprennent des racines courtes aux extrémités épaisses ou une partie aérienne rabougrie et des feuilles violacées.

Chloroacétamide (p. ex. diméthénamide, flufénacet, s-métolachlore)
La planche 41, p. 329, montre les dommages causés au maïs par le chloroacétamide. Les feuilles sont plus courtes que la normale et gaufrées, le coléoptile est tordu et les feuilles ne s'ouvrent pas normalement. Le stress imposé au plant réduit son métabolisme et sa capacité de dégrader l'herbicide, et cause davantage de dégâts.

Herbicides blanchissants (p. ex. isoxaflutole, clomazone)
La planche 42, p. 329, montre des feuilles de maïs blanchies par une forte dose d'isoxaflutole. Les plants peuvent lever normalement, puis afficher des symptômes au stade 2–4 feuilles. Les symptômes peuvent aussi apparaître à la suite d'une pluie. Les feuilles jaunissent ou blanchissent, surtout près de la nervure principale. Une teinte violette peut apparaître sur le pourtour de la feuille ou à la base du cornet.

Herbicides auxiniques et autres produits à base d'auxines (p. ex. 2,4-D, MCPA, dicamba, clopyralide)
La planche 43, p. 329, montre le symptôme de la feuille d'oignon dans une culture de maïs, à la suite d'une forte dose de dicamba (cette réaction peut aussi se produire sur des hybrides sensibles ou lorsque l'herbicide est appliqué trop tard).

Dans le maïs, les dommages causés par le dicamba prennent la forme de racines échasses tordues (voir planche 44, p. 329). Les racines échasses sont noueuses et ont tendance à pousser ensemble. Elles ne s'enfoncent pas dans le sol pour supporter le plant, ce qui risque plus tard dans la saison de provoquer la verse. Des doses élevées, des hybrides sensibles ou des applications tardives peuvent tous causer ces symptômes. La planche 45, p. 329, montre les effets sur la pollinisation d'un traitement trop tardif.

Bromoxynil
La planche 46, p. 330, montre les dommages causés au maïs par le bromoxynil. Les symptômes comprennent la moucheture des feuilles et le brunissement de l'extrémité et des contours des feuilles. Les symptômes se manifestent sur les feuilles qui sont sorties au moment du traitement, mais non sur les feuilles qui sortent par la suite.

Acétolactose-synthase (ALS) et autres produits renfermant ces herbicides ou des herbicides semblables (p. ex. nicosulfuron, imazéthapyr, chlorimuron-éthyl)
Les dommages causés au maïs par les sulfonylurées (ALS) surviennent souvent tout d'un coup sur les feuilles (voir planche 47, p. 330). En général, le maïs se remet de ce type de dommages. Les symptômes peuvent comprendre le jaunissement des feuilles, des taches jaunes sur les feuilles (comme sur l'illustration), le rabougrissement du plant, un retard de croissance et des feuilles plissées ou blanchies près du cornet. Le symptôme de la feuille d'oignon ou des tiges ou des feuilles violacées peuvent aussi être observés. Certains herbicides à base d'ALS peuvent réduire la masse racinaire en raccourcissant les racines latérales. S'abstenir d'appliquer ces herbicides sur du maïs traité à l'aide d'un insecticide organophosphoré, sous peine d'aggraver les dommages.

Inhibiteurs de la carboxylase acétyl-CoA (ACCase) (p. ex. séthoxdime, fluazifop-p-butyl, quizalofop-p-éthyl)
Les blessures causées au maïs par les graminicides du groupe 1 (ACCase) prennent la forme d'une chlorose internervale sur les feuilles les plus jeunes (voir planche 48, p. 330). Les feuilles plus vieilles peuvent présenter des taches rouges ou violacées. Le point végétatif brunit et meurt. La partie supérieure du plant peut être facilement arrachée du cornet. Les nouvelles pousses meurent en premier, de sorte que la plant semble mettre énormément de temps à mourir après le traitement.

Glufosinate-ammonium
La planche 49, p. 330, montre un plant de maïs sensible endommagé par un herbicide à base de glufosinate-ammonium, à côté de plants tolérants. Les plants sensibles jaunissent et meurent. Les dommages se manifestent dans les quelques jours qui suivent le traitement.

Dommages causés par le glyphosate
La dérive de glyphosate sur le maïs cause le jaunissent du cornet (et un léger rougissement du pourtour des feuilles) près du point végétatif. Les feuilles peuvent devenir tordues et les plants devenir rabougris ou mourir. Les dommages peuvent mettre 1–2 semaines à se manifester et sont irréversibles.

4. Soya

Au cours des 10 dernières années, la superficie des champs consacrés à la culture du soya en Ontario a doublé pour s'établir à plus de 809 000 hectares (2 000 000 d'acres), ce qui représente une augmentation de plus de 2 000 % depuis les 50 dernières années. Les facteurs qui ont contribué à cette croissance sont l'élaboration de cultivars plus hâtifs, une plus grande sélection d'herbicides, un rendement plus stable, l'adaptabilité au semis direct et des coûts de production relativement faibles.

L'accroissement de la demande pour des soyas à identité préservée destinés à des marchés de spécialité (p. ex. de consommation humaine, non génétiquement modifiés, biologiques) a entraîné de nouvelles possibilités commerciales pour l'Ontario au-delà de l'utilisation finale traditionnelle du soya, soit la production d'huile (c.-à-d. par broyage) et la fabrication d'aliments pour le bétail.

Systèmes de travail du sol

La grande adaptabilité du soya à divers systèmes de travail du sol, notamment le semis direct, a contribué à l'accroissement fulgurant de la superficie des champs consacrés à sa culture. En effet, environ 40 % des cultures de soya sont des semis directs, tandis que 30 % des cultures sont semées à la suite d'un travail réduit du sol. L'expérience sur le terrain et les essais de recherche révèlent des rendements quasi identiques d'un système de travail du sol à l'autre. La gestion d'un système de travail du sol est tout aussi importante que le système choisi.

Semis direct et travail réduit du sol

Selon des recherches sur les systèmes de travail du sol effectuées en Ontario entre 1997 et 2000, le rendement des cultures de soya en semis direct était, dans le cas des rangs jumelés et des rangs de 56 cm (22,5 po) de largeur ou moins, le même que celui des cultures semées à la suite d'un labour d'automne à la charrue à socs (voir le tableau 4–1, *Rendement du soya en fonction de divers systèmes de travail du sol*, ci-contre). Bien que le rendement de ces deux systèmes soit semblable, le semis direct est souvent moins coûteux et permet de réaliser de meilleurs profits. Pour ce qui est des rangs simples de 76 cm (30 po) de largeur, c'est le labour à la charrue à socs qui permet d'obtenir le rendement le plus élevé. Par contre, lorsqu'on sème des cultures de soya en rangs jumelés, les rendements sont plus élevés par rapport au rendement obtenu avec des rangs de 76 cm (30 po) et ce, sous tous les systèmes de travail du sol. De plus, cette étude a révélé que le travail du sol par bandes n'offre aucune amélioration significative du rendement par rapport au semis direct. Il est recommandé d'utiliser des rangs jumelés lors d'un travail du sol par bandes au printemps.

Le plus grand défi que présente l'adoption du système de travail réduit du sol ou du semis direct est la lourdeur de certains types de sol (argile, loam limono-argileux, argile limoneuse). Certaines années, des agriculteurs ont signalé que leurs cultures de soya en

Tableau 4–1.
Rendement du soya en fonction de divers systèmes de travail du sol[1]

Système de travail du sol	Largeur des rangs en cm (po)				
	Rang simple 76 cm (30 po)	Rangs jumelés 76 cm (30 po)	56 cm (22,5 po)	38 cm (15 po)	19 cm (7,5 po)
	Rendement du soya en t/ha (bo/ac)				
Semis direct	2,72 (40,4)	3,04 (45,3)	2,93 (43,6)	3,06 (45,5)	3,06 (45,5)
Labour d'automne à la charrue à socs	2,94 (43,8)	3,02 (44,9)	2,93 (43,6)	3,12 (46,4)	3,21 (47,7)
Travail du sol par bandes à l'automne	2,78 (41,3)	2,93 (43,6)	–	–	–
Travail du sol par bandes au printemps	2,71 (40,3)	3,02 (45,0)	–	–	–
Plus petit écart significatif (P = 0,05) = 2,4[2]					

[1] Moyenne de neuf sites par an. Université de Guelph (1998–2000). Les essais ont été effectués sur des loams argileux, limono-argileux, limoneux et de Guelph qui ont fait l'objet d'un travail du sol par bandes au printemps, environ un jour avant le semis.

[2] Si la différence entre deux traitements est supérieure à 2,4, il y a moins de 1 chance sur 20 que cela soit dû à une variation fortuite.

Tableau 4–2.
Rendement des cultures de soya au Collège de Ridgetown de 1992 à 2000

Système de travail du sol	Rendement moyen (à l'exclusion de 1996) t/ha	bo/ac
Labour d'automne à la charrue à socs	3,21 a	47,7 a
Travail du sol au chisel à l'automne	3,05 b	45,4 b
Billonnage	2,96 b	44,1 b
Travail du sol par bandes	3,06 b	45,5 b
Semis direct	3,21 b	47,8 a
Plus petit écart significatif = 5 %	2,2	2,2

Les résultats suivis de la même lettre ne présentent pas d'écart significatif, le plus petit écart significatif étant de 5 %.

semis direct dans ces types de sol avaient un rendement inférieur à celui obtenu lors d'un travail du sol traditionnel. Les recherches sur le système de travail du sol à long terme effectuées sur le sol argileux de Brookston, au Collège de Ridgetown, Université de Guelph, n'ont démontré aucune différence entre le rendement des cultures de soya en semis direct et celui obtenu lors d'un labour d'automne à la charrue à socs (voir le tableau 4–2, *Rendement des cultures de soya au Collège de Ridgetown de 1992 à 2000*, ci-dessus).

Quand on sème du soya après des céréales, il faut, dès la récolte, prêter une attention particulière à la gestion des résidus de céréales afin de ne pas nuire à l'établissement du soya. La meilleure solution est d'enlever la paille et d'éparpiller la balle de façon homogène. En effet, des essais de recherche réalisés par l'Université de Guelph ont révélé que l'enlèvement de la paille de blé permet d'améliorer l'état des lits de semence, ainsi que l'établissement, la croissance et le rendement des cultures de soya en semis direct (voir le tableau 4–3, *Incidence du travail du sol et de la gestion des résidus de blé sur le rendement du soya*, ci-contre). Les résidus céréaliers peuvent former une couche qui ralentit le réchauffement et l'assèchement du sol au printemps, ce qui peut retarder le semis, la levée et le début de la croissance du soya, ainsi qu'accroître la présence de limaces. Le travail réduit du sol effectué à l'automne ou au printemps, sans travail superficiel supplémentaire, permet d'améliorer l'état des lits de semences et de créer un sol plus meuble et fin, ce qui accélère le début de la croissance du soya tout en maintenant des niveaux adéquats de résidus permettant de réduire les effets de l'érosion.

Tableau 4–3.
Incidence du travail du sol et de la gestion des résidus de blé sur le rendement du soya

Système de travail du sol/gestion de la paille	Rendement du soya t/ha	bo/ac
Labour d'automne à la charrue à socs/ paille en balles	3,29	48,9
Travail du sol au chisel à l'automne/ paille en balles	3,30	49,1
Travail du sol au pulvériseur à disques à l'automne/paille en balles	3,21	47,8
Travail du sol par bandes à l'automne/ paille en balles	3,19	47,5
Semis direct/paille et chaume sur le sol	2,27	33,8
Semis direct/paille en balles et chaume	3,00	44,7
Semis direct/paille en balles et déchaumage	3,28	48,8

Moyenne de 1994 à 1996, Centralia et Wyoming

Nota : La hauteur du chaume était d'environ 20 à 30 cm (10–12 po), à l'exception des parcelles où le chaume a été coupé et enlevé.
Types de sol — Centralia : loam, loam argileux; Wyoming : argile limoneuse, loam limono-argileux. Les cultures de soya ont été semées à l'aide d'un semoir de conservation JD 700 muni de coutres simples de 1¼ po. Le semoir à semis direct était équipé d'un sarcleur à dents.

Source : T. Vyn, G. Opuku et C. Swanton, Université de Guelph.

Il vaut mieux ne pas travailler le sol des collines et des pentes érodables. En effet, il serait prudent de ne travailler que les terres qui sont habituellement fraîches ou humides au printemps.

Rotation des cultures

Les cultures de soya se prêtent très bien à la rotation. Le tableau 4–4, *Rendement du soya en fonction de diverses rotations des cultures*, p. 117, affiche les résultats des recherches sur la rotation de cultures effectuées au Collège de Ridgetown, Université de Guelph. La rotation des cultures de soya, de blé d'automne et de maïs a obtenu le meilleur rendement, tandis que la monoculture du soya a produit le rendement le plus faible. Une rotation courte entraîne des maladies et d'autres problèmes à long terme. Entre autres, les populations de nématodes à kyste du soya (NKS) peuvent pulluler, ce qui contribue à la réduction du rendement (voir *Nématode à kyste du soya*, p. 149). Pour réduire l'incidence de moisissure blanche, on doit effectuer une rotation tous les trois à quatre ans avec des cultures qui ne servent pas d'hôtes à ce nématode.

Tableau 4–4.
Rendement du soya en fonction de diverses rotations des cultures

Rotation	Rendement du soya	
	t/ha	bo/ac
Monoculture de soya	2,89	43
Maïs, soya	3,09	46
Blé d'automne, soya	3,23	48
Blé d'automne, maïs, soya	3,23	48

Collège de Ridgetown, Université de Guelph, 1997–2000.

Pour ce qui est des champs ayant déjà été infectés par le pourridié phytophthoréen, une rotation courte fait accroître la gravité et le nombre de souches de la maladie. L'utilisation répétée d'herbicides du groupe 2 (inhibiteurs ALS) favorise la multiplication des mauvaises herbes qui y sont résistantes.

Semis de blé après une culture de soya

Si l'on sème du blé d'automne après une culture de soya :

- on doit choisir un cultivar qui nécessite environ 100 à 200 unités thermiques de croissance de moins que le nombre d'unités disponibles dans la région. Selon des recherches au Collège de Ridgetown, Université de Guelph (1990–1999), un cultivar nécessitant 100 unités thermiques de moins qu'un cultivar de pleine saison vient à maturité, en moyenne, 5 jours plus tôt (fourchette : 3–7 jours). Un cultivar nécessitant 200 unités thermiques de moins vient à maturité 9 jours plus tôt que les cultivars de pleine saison (voir le tableau 4–5, *Précocité de maturité des cultivars de soya nécessitant 2 950, 3 050 et 3 150 unités thermiques de croissance*, ci-contre);
- on doit semer le soya tôt, car le semer tard retarde le semis du blé;
- la date de semis du blé peut être calculée en utilisant la date de semis du soya et la précocité de maturité du cultivar en question;
- il faut choisir un cultivar de pleine saison lorsque le blé d'automne est semé à la volée dans une culture déjà existante;
- voir les dates de semis du blé d'automne sous la rubrique *Dates de semis*, p. 215.

Pour de plus amples renseignements sur la rotation des cultures de soya et sur les précautions concernant les différents systèmes de travail du sol, voir la rubrique *Rotation des cultures*, p. 20.

Tableau 4–5.
Précocité de maturité des cultivars de soya nécessitant 2 950, 3 050 et 3 150 unités thermiques de croissance[1]

Année	Date de semis	Précocité de maturité des cultivars de soya[2]		
		Cultivar nécessitant 2 950 UTC	Cultivar nécessitant 3 050 UTC	Cultivar nécessitant 3 150 UTC
1990	28 mai	20 septembre	25 septembre	30 septembre
1991	11 mai	8 septembre	13 septembre	20 septembre
1992	15 mai	25 septembre	27 septembre	2 octobre
1993	20 mai	21 septembre	26 septembre	1er octobre
1994	27 mai	14 septembre	16 septembre	21 septembre
1995	23 mai	16 septembre	18 septembre	21 septembre
1997	23 mai	17 septembre	21 septembre	27 septembre
1998	21 mai	14 septembre	17 septembre	23 septembre
1999	12 mai	10 septembre	13 septembre	19 septembre

Source : Ablett, Collège de Ridgetown, Université de Guelph.

[1] De 1990 à 1999.

[2] Ces dates indiquent la maturité physiologique. Toute combinaison serait faite de trois à dix jours après ces dates.

Choix des cultivars

Il existe plus de 200 cultivars de soya et ils sont remplacés assez rapidement sur le marché. Le choix des cultivars doit être fondé non seulement sur la date de maturité et le rendement, mais également sur la tolérance ou la résistance aux maladies, ainsi que sur la résistance à la verse et au nématode à kyste du soya.

Date de maturité et unités thermiques de croissance

La croissance du soya dépend de l'accumulation d'unités thermiques de croissance, de la durée des journées et du nombre d'heures d'ensoleillement. La maladie, le stress hydrique et d'autres types de stress peuvent éloigner ou rapprocher la date de maturité, selon le moment où survient le stress.

Il est important que l'agriculteur choisisse un cultivar qui correspond au nombre d'unités thermiques de sa ferme (voir la figure 3–1, *Unités thermiques disponibles pour la culture du maïs*, p. 66). Le choix de cultivars de pleine saison permet de tirer profit de toute la saison de croissance afin d'assurer le meilleur rendement possible. Cependant, lorsqu'il s'agit d'une culture de soya de spécialité tels que les cultivars à hile blanc, il faut choisir des cultivars à cycle plus court, afin d'assurer une récolte de qualité.

CHOIX DES CULTIVARS

Couleur du hile

Le hile est le point d'attache de la graine du soya à la gousse. La couleur du hile diffère d'un cultivar à l'autre : jaune (Y), jaune imparfait (IY), gris (GR), chamois (BF), brun (BR), noir (BL) ou noir imparfait (IBL). En général, le soya destiné aux marchés d'exportation est le soya à hile jaune. Il se peut que le hile des cultivars à hile jaune imparfait (IY) ait tendance à se décolorer. Le cas échéant, les graines touchées peuvent ne pas être acceptables aux fins d'exportation.

Cultivars de qualité supérieure

En plus de la date de maturité, il est important de considérer des facteurs tels que le potentiel de rendement et la résistance à la verse, aux insectes et aux maladies. Afin de guider son choix de cultivars de qualité supérieure, on peut consulter les trois sources de renseignements suivantes :

1) résultats d'essais de rendement;
2) résultats des bandes d'essai à la ferme;
3) renseignements fournis par les fournisseurs sur les caractéristiques d'un cultivar.

Le Comité ontarien des cultures oléagineuses effectue des essais de rendement chaque année en divers points de la province. Les résultats sont publiés tous les automnes dans le rapport sur les essais de cultivars de soya en Ontario (*Ontario Soybean Variety Trials*), disponible sur le Web à www.soybean.on.ca. Ces essais on ne peut plus utiles permettent notamment de comparer le potentiel de rendement des cultivars. De plus, ils permettent d'obtenir des cotes en matière de maturité, de hauteur et de résistance à la verse. Dans le sud-ouest de l'Ontario, on évalue la résistance au pourridié phytophthoréen des cultivars semés dans des sols argileux. Dans les sols lourds, il est recommandé de semer des cultivars résistant au pourridié phytophthoréen. Pour ce qui est des champs infestés par le nématode à kyste du soya (NKS), il faudrait inclure régulièrement dans la rotation des cultures des cultivars résistant au NKS (voir *Nématode à kyste du soya*, p. 149).

Les résultats des bandes d'essai à la ferme nous permettent de déterminer l'adaptabilité d'un cultivar à toute une gamme de conditions. Le sommaire des résultats des essais est disponible sur le site Web de l'Association pour l'amélioration des sols et des cultures de l'Ontario (www.ontariosoilcrop.org). Les résultats d'essais de rendement et le sommaire des résultats des bandes d'essai à la ferme sont utiles pour le choix des cultivars, là où il y a suffisamment de données pour permettre une comparaison.

Pour faciliter le choix de cultivars, les producteurs de semences, eux, fournissent des renseignements détaillés sur les caractéristiques de croissance de leurs cultivars. Quand on évalue le rendement des cultivars, il ne faut pas oublier que les essais effectués avec un travail du sol traditionnel s'avèrent une indication fiable du rendement d'un cultivar semé selon la méthode du semis direct.

On suggère de semer un cultivar qui a une grande résistance à la verse dans les sols ayant un taux élevé d'azote résiduel ou dans les sols dont la texture varie de moyenne à légère. Si le soya est destiné à nourrir le bétail, il vaut mieux choisir un cultivar ayant une forte teneur en protéines.

Il est possible que le rendement de cultivars individuels diffère selon les conditions de croissance. Pour réduire le risque de perte totale des cultures, on doit cultiver plus d'un cultivar. Consacrer le gros de la superficie cultivée à des cultivars éprouvés et ne réserver qu'une petite superficie aux nouveaux cultivars.

Cultivars à identité préservée

On entend par préservation de l'identité la séparation des cultivars depuis le semis jusqu'à la livraison à l'utilisateur final. Il ne s'agit pas d'un nouveau concept; en effet, cela existe dans un certain nombre de marchés, y compris ceux de la production de semences et de soya de consommation humaine. L'arrivée de cultivars améliorés par la biotechnologie a entraîné une demande pour des soyas à identité préservée et non génétiquement modifiés. Le marché offre à l'agriculteur divers contrats et primes. Cependant, il faut mesurer le pour et le contre des primes offertes pour la production de cultivars à identité préservée; en effet, ces cultivars coûtent plus cher et exigent plus de temps et de gestion. Il est donc préférable de limiter la superficie consacrée à ces types de soya de manière à pouvoir faire la récolte en temps opportun. Il se peut que des renseignements sur le rendement de certains cultivars de spécialité ne soient pas disponibles, et que les données sur ces cultivars ne soient disponibles qu'auprès des entreprises qui vendent la semence et/ou qui acceptent de prendre livraison des récoltes. Les propriétés agronomiques d'un cultivar à identité préservée, telles que le rendement, la résistance aux maladies et la date de maturité, doivent être évaluées afin de déterminer si la prime offerte au moment de la vente est suffisante. Pour plus de renseignements sur les essais de rendement effectués par le Comité ontarien des cultures oléagineuses, sur un certain nombre de cultivars de soya de consommation humaine, on peut consulter le site Web de la

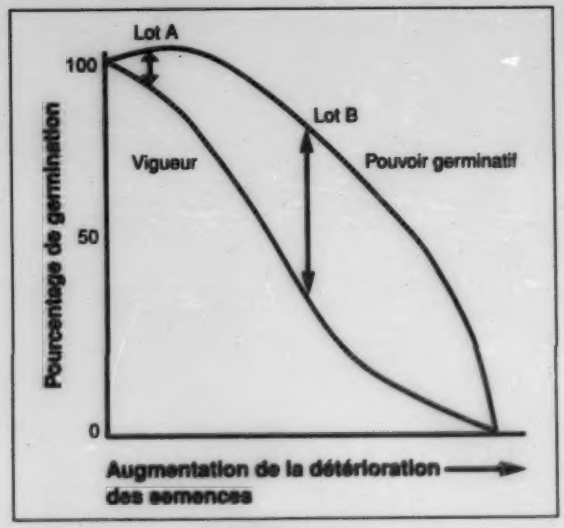


Figure 4–1.
Influence de la détérioration des semences sur leur vigueur et leur pouvoir germinatif

Source : Delouche et Caldwell, 1960.

Commission ontarienne de commercialisation du soya, à www.soybean.on.ca. Aux fins d'assurance-récolte, AGRICORP propose un facteur d'ajustement du rendement pour un certain nombre de cultivars de soya de spécialité.

Biotechnologie

Des cultivars qui ont des propriétés spéciales, telles qu'une résistance à certains herbicides, sont maintenant disponibles en Ontario. Ils pourraient être utiles aux agriculteurs qui tentent de régler des problèmes précis de mauvaises herbes. Ils se prêtent également bien à certains systèmes de travail du sol. Cependant, ces cultivars peuvent ne pas être acceptés dans tous les marchés du soya.

Semis et croissance de la culture

Qualité des semences

Il est important de connaître la qualité des semences. Les semences certifiées doivent être conformes à des normes de pureté et de germination. Pour connaître la qualité des semences communes, il faut en faire évaluer le pouvoir germinatif dans un laboratoire de semences accrédité avant le semis (voir l'annexe H, *Laboratoires d'analyse des semences accrédités par l'Agence canadienne d'inspection des aliments*, p. 310).

Le facteur de qualité le plus important dans l'évaluation des lots de semences est le pouvoir germinatif. Il s'agit de la capacité d'un lot de semences à produire des plantules normales dans des conditions favorables, soit une humidité de 95 à 100 % et une température de 25 °C. Les conditions de stress observées dans les champs après le semis ont souvent pour conséquence de ralentir la levée des plantules comparativement à la levée en laboratoire.

Une meilleure façon d'évaluer la capacité des semences à lever rapidement et de façon homogène sous un large éventail de conditions est de calculer la cote de vigueur de la semence. Pour ce faire, on effectue un test de vigueur ou test de stress qui correspond probablement mieux à sa nature. Selon les normes applicables aux semences certifiées, il faut tester le pouvoir germinatif des semences. En plus de la germination, de nombreux distributeurs de semences testent régulièrement la vigueur des semences et font état des résultats.

La figure 4–1, *Influence de la détérioration des semences sur leur vigueur et leur pouvoir germinatif*, ci-contre, illustre l'influence que la détérioration des semences peut avoir sur le pouvoir germinatif et la vigueur. À mesure que la détérioration s'accroît, le pouvoir germinatif diminue lentement, tandis que la vigueur diminue rapidement.

Dans le cas du lot A, il y a peu de détérioration et le pouvoir germinatif ainsi que la vigueur sont semblables. Par contre, le lot B montre un excellent pouvoir germinatif, mais peu de vigueur.

Un certain nombre de facteurs peuvent faire diminuer la vigueur des semences, notamment les gènes, les dommages mécaniques à la semence, la détérioration due à l'entreposage, les conditions atmosphériques avant la récolte et les maladies. Cependant, le facteur le plus important semble être l'environnement. Des études effectuées au moment de la récolte par l'Université de Guelph suggèrent qu'une perte de vigueur peut survenir s'il y a un retard entre la maturation physiologique et la récolte. Il est important de récolter le soya en temps opportun s'il doit servir de semence.

Inoculation

Grâce aux progrès technologiques, il y a maintenant des inoculants qui coûtent moins cher par acre, qui contiennent des concentrations de *Rhizobium* plus élevées et qui offrent davantage de possibilités pour les pratiques culturales.

Lorsqu'il est semé pour la première fois dans un champ, le soya doit être inoculé avec une souche de *Rhizobium* pour donner de bons rendements. En effet, on a trouvé que, quand on sème le soya dans des

Tableau 4–6.
Gains de rendement obtenus grâce à l'utilisation de différents types d'inoculants dans des champs servant pour la première fois à la culture du soya

Type d'inoculant	Rendement t/ha (bo/ac)	Gain en pourcentage par rapport aux champs témoins non inoculés[1]
Liquide pulvérisé dans la raie de semis	3,02 (45)	29
Liquide appliqué aux semences	2,96 (44)	26
Poudre de tourbe stérile servant de support	2,89 (43)	23
Inoculant granulaire	2,96 (44)	26
Poudre de tourbe non stérile	2,76 (41)	18
Champ témoin non inoculé	2,35 (35)	–

Source : Université de Guelph.

[1] Les résultats proviennent de sept essais au champ répétés, effectués près de Guelph entre 1996 et 2000. Tous les sites étaient exempts de *Rhizobium*.

terres vierges, la souche 532C dans une tourbe stérile permet d'améliorer le rendement de 7 % comparativement aux autres souches de la bactérie. Toutefois, dans les autres terres, ces inoculants ne présentent plus le même avantage. Il faut utiliser deux produits différents ou au moins deux lots différents du même produit pour obtenir une meilleure inoculation.

Il existe un certain nombre d'inoculants pour le soya. Chaque année, l'Université de Guelph effectue des essais de rendement pour comparer des inoculants. Le tableau 4–6, *Gains de rendement obtenus grâce à l'utilisation de différents types d'inoculants dans des champs servant pour la première fois à la culture du soya*, ci-dessus, présente le sommaire des résultats des essais effectués entre 1998 et 2000 dans des champs où le soya a été semé pour la première fois. Les résultats illustrent que le fait de pulvériser des inoculants liquides ou de les laisser couler dans la raie au moment du semis a permis d'obtenir les meilleurs rendements. Cette méthode d'application consiste à monter une buse ou un tube de descente sur chaque coutre du semoir, ainsi qu'un réservoir sous pression pour l'inoculant liquide. Tous les fabricants d'inoculants importants offrent maintenant des inoculants liquides.

On obtient également de bons rendements lorsqu'on applique l'inoculant liquide sur les semences avant le semis. Il suffit d'appliquer l'inoculant sur la base de la vis de chargement au moment de remplir le semoir. On peut aussi se procurer auprès de fournisseurs de l'équipement qu'on accroche sur le côté d'un camion, d'un bac-citerne ou d'une remorque à décharge par gravité. Si la terre est très sèche, certains fabricants d'inoculants affirment qu'il est plus prudent d'ajouter au liquide une demi-dose de poudre de tourbe à des fins de protection du *Rhizobium*. Il arrive que des agriculteurs utilisent trop du produit de traitement des semences ou d'inoculant liquide, ce qui bouche le semoir ou crée un dépôt dans la vis de chargement. L'application simultanée d'une faible dose d'inoculant sur tourbe est une façon de remédier à ce problème. Il peut aussi être utile de minimiser le délai entre le traitement et le semis en préparant le mélange dans le champ.

Les inoculants sur support stérile contiennent une base de poudre de tourbe; celle-ci est stérilisée avant l'ajout de la souche de l'inoculant. Ces inoculants renferment une concentration beaucoup plus forte de *Rhizobium* que la poudre de tourbe traditionnelle non stérile. Souvent, la poudre de tourbe non stérile contient des contaminants microbiens pouvant faire concurrence au *Rhizobium*.

Les inoculants granulaires ont eux un support non stérile. Ils ont un rendement plus élevé que les inoculants à base de poudre de tourbe non stérile, car on en applique davantage par hectare.

Le traitement des semences peut nuire au rendement des inoculants. Lorsque les inoculants et les traitements de semences sont utilisés conjointement, il ne faut traiter que la quantité de semences que l'on prévoit semer dans les quatre heures suivant le traitement. En effet, des essais montrent que seulement 40 % des bactéries survivent plus de quatre heures.

Il n'est pas nécessaire d'inoculer les champs qui, dans le passé, ont produit une récolte de soya vert foncé et bien nodulé, exception faite des sols acides (pH inférieur à 6,0) et des sols sableux à texture grossière, dans lesquels il est recommandé d'inoculer chaque culture de soya. L'agriculteur qui n'est pas certain que les cultures de soya précédentes aient formé des nodosités adéquates devrait en faire l'inoculation pour écarter tout risque d'une piètre nodulation. Des essais à long terme indiquent que l'inoculation de champs qui ont produit une récolte de soya bien nodulé entraîne un gain de rendement de 0,05 à 0,07 t/ha (de 0,75 à 1 bo/ac). Même en l'absence de cultures de soya, le *Rhizobium* vit de sept à dix ans dans la plupart des sols.

Tableau 4–7.
Incidence des dates de semis sur le rendement, la hauteur des plants et la maturité

Date de semis	Rendement (bo/ac)	Hauteur des plants (cm)	N^bre de jours avant la maturité
10 mai	54	109	137
24 mai	48	112	125
3 juin	47	112	119
13 juin	44	93	112

Source : Ablett, Collège de Ridgetown, Université de Guelph, 1980-1981.

Des études récentes n'ont pas démontré qu'il vaille la peine de remplacer les souches existantes de *Rhizobium* par de nouvelles souches plus efficaces. Le fumier épandu sur les champs de soya contient une source d'azote rapidement utilisable que le soya préfère à l'azote fourni par le *Rhizobium*. Il est possible que, dans ces champs, la formation de nodosités soit retardée; les rendements, toutefois, ne sont aucunement affectés. Dans les champs de soya vierges où l'on épand du fumier, il se peut que les nodosités ne se forment pas et, à moins que le sol ne soit riche en azote, il se peut qu'on observe une carence en azote.

Normalement, les racines du soya sont infectées par le *Rhizobium japonicum* peu après la levée. Des nodosités se forment de trois à quatre semaines après le semis. La vérification des champs à ce stade permet d'appliquer de l'azote dans l'éventualité où l'inoculant ne fonctionne pas. Dans des champs vierges, des nodosités se forment sur la racine pivotante. Dans les champs ayant déjà servi à la culture du soya, on trouve également des nodosités sur les radicelles. La quantité adéquate serait de huit à quatorze nodosités par plante.

Date de semis

On obtient les meilleurs rendements du soya lorsqu'on le sème tôt, habituellement dans les dix premiers jours de mai dans le sud-est de la province. Si l'on sème du soya tard, le rendement risque de diminuer considérablement (voir le tableau 4–7, *Incidence des dates de semis sur le rendement, la hauteur des plants et la maturité*, ci-dessus). De façon générale, si la température du sol et les conditions d'humidité sont propices au semis du maïs, elles le sont également pour le semis du soya.

Une forte gelée printanière peut tuer le soya semé tôt, car le point végétatif des plantules levées se situe au-dessus de la surface du sol. Toutefois, le soya peut

Il faut éviter de semer le soya lorsque la température du sol est inférieure à 10 °C (50 °F). Normalement, il y a un écart de deux heures entre la température de l'air et celle de la terre à la profondeur du semis. Si les graines de soya qui viennent d'être semées absorbent de l'eau froide, elles pourraient mettre plus de temps à germer et perdre de la vigueur.

endurer des températures aussi basses que –2,8 °C (27 °F) pendant une courte durée, contrairement au maïs, dont les tissus sont endommagés à –2 °C (28,4 °F).

Semis retardé

Lorsque le semis est retardé, le soya prend moins de jours pour venir à maturité. Par exemple, si les semis sont retardés de un mois, il viendra à maturité avec neuf jours de retard. De plus, retarder le semis peut réduire la période de croissance végétative, ce qui donne des plants plus courts et des gousses plus basses. Le fait de semer tard réduit également le nombre de gousses par plant, en raison de la période de floraison écourtée. La date de semis a aussi une certaine influence sur la durée du stade de remplissage des gousses.

En général, un retard de 3 jours dans les semis retarde la maturité de 1 journée.

Si les semis sont retardés au delà du 15 juin, il faut réduire les estimations du nombre d'UTC disponibles de 100 à 150 unités thermiques pour chaque semaine de retard, jusqu'au 30 juin. Après le 1^er juillet, il faut revenir à un cultivar de pleine saison à hile pâle (les hiles foncés peuvent « se décolorer » l'intérieur des graines de soya à la suite d'une gelée hâtive).

Il est possible d'améliorer la croissance végétative des semis tardifs en choisissant des cultivars qui atteignent une hauteur supérieure et en les semant en rangs plus serrés. Il faut alors augmenter les taux de semis de 10 %. Cela permet d'augmenter la hauteur des gousses les plus basses et le nombre de gousses produites par acre.

Récoltes successives

De temps à autre, un nombre restreint de producteurs de soya de l'extrême sud de l'Ontario tentent de cultiver le soya immédiatement après la récolte de leurs cultures de céréales d'automne ou de pois.

Tableau 4–8.
Influence de l'espacement des rangs sur le nombre de jours nécessaires à la formation du couvert (semis en mai)

	Formation du couvert (jours)	
Espacement des rangs	Semis avant le 15 mai	Semis après le 15 mai
18 cm (7 po)	30	25
38 cm (15 po)	45	40
51 cm (20 po)	55	50
76 cm (30 po)	70	65

Malheureusement, en Ontario, ces récoltes successives échouent plus souvent qu'autrement. Il *ne* faut *pas* enlever un bon peuplement de trèfle rouge afin de semer du soya, car les bénéfices que l'on tire du peuplement de trèfle rouge l'emportent sur le risque encouru par une deuxième récolte. Il ne faut pas non plus tenter d'obtenir une deuxième récolte si le champ est infesté par le nématode à kyste du soya. En effet, la culture de soya réduirait les avantages procurés par la culture (céréales d'automne) qui n'est pas un hôte de ce ravageur et en ferait accroître les populations.

Suivre les conseils de gestion suivants pour améliorer les chances de réussite d'une seconde récolte :

- à la première récolte, laisser environ 20 cm (8 po) de chaume afin de promouvoir l'élongation de la tige du soya et la formation des gousses plus haut sur le plant;
- semer le soya immédiatement après une récolte de céréales ou de pois en temps opportun;
- semer à 1 cm (½ po) de profondeur dans la terre humide en prenant soin de ne pas dépasser 7,5 cm (3 po);
- si possible, choisir des cultivars à hile pâle de pleine saison qui donnent de grandes plantes;
- utiliser des taux de semis élevés en semant en rangs serrés.

Espacement des rangs

La culture du soya se prête bien à une vaste gamme d'espacements de rangs dans les régions ontariennes où la saison de croissance est longue. Le choix d'espacement dépend de facteurs tels que le système de travail du sol employé, l'équipement, les problèmes de mauvaises herbes, les tests précédents, les conditions du sol, la résistance à la moisissure blanche et la date du semis.

Des rangs larges permettent à l'agriculteur de sarcler entre les rangs et de minimiser les effets de l'encroûtement, tandis que des rangs étroits permettent au couvert de se former plus rapidement, ce qui maximise l'interception de la lumière (voir le tableau 4–8, *Influence de l'espacement des rangs sur le nombre de jours nécessaires à la formation du couvert (semis en mai)*, ci-contre). Plus le couvert se forme rapidement, meilleure est la maîtrise des mauvaises herbes.

Tableau 4–9.
Incidence de l'espacement des rangs sur le rendement[1]

Espacement des rangs	Rendement
18 cm (7 po)	3,3 t/ha (49 bo/ac)
36 cm (14 po)	3,2 t/ha (47 bo/ac)
53 cm (21 po)	3,0 t/ha (45 bo/ac)
71 cm (28 po)	2,7 t/ha (40 bo/ac)

[1] Les résultats sont fondés sur des recherches effectuées dans des sols limono-argileux situés dans une région recevant 3 250 UTC. Dans les régions où la saison de croissance est plus courte, on peut s'attendre à une plus grande incidence des rangs serrés sur le rendement. Cette incidence se trouve par contre réduite lorsque les plants sont soumis à un stress.

En ce qui concerne les sols plus lourds, notamment les sols argileux, des rangs larges permettent de semer plus de graines par mètre, ce qui peut faciliter la levée. L'amélioration de la circulation de l'air dans les rangs larges aide aussi à réduire la gravité de la moisissure blanche.

Le gain de rendement potentiel que présente la culture de soya en rangs serrés est plus important dans les régions où la saison de croissance est courte. Plus on avance dans le sud-ouest de l'Ontario, moins cet avantage est grand. Des rangs espacés de 18 cm (7 po) sont recommandés là où la saison de croissance est courte. Dans le sud-ouest de l'Ontario, il peut être bénéfique de réduire l'espacement des rangs à moins de 53 cm (21 po), tel qu'il est indiqué dans le tableau 4–9, *Incidence de l'espacement des rangs sur le rendement*, ci-dessus.

Taux de semis

Le taux de semis du soya est moins crucial que celui du maïs, car le soya peut compenser de façon considérable pour les différences dans les densités de peuplement, sans aucune incidence sur le rendement. Par contre, un taux de semis trop élevé est un gaspillage d'argent et pourrait même réduire la résistance à la verse.

Le taux de semis dépend des différences relativement à la grosseur des semences. La grosseur et la qualité

Tableau 4–10.
Taux de semis recommandés pour le soya

		Espacement des rangs en cm (po)			
		18[1] (7)	36[2] (14)	53[3] (21)	71[4] (28)
		N^bre de graines par m (pi) de rang			
		10 (3)	18 (6)	22 (6,7)	29 (9)
Graines/ kg	Graines/ lb	Taux de semis en kg/ha (lb/ac)			
4 400	2 000	126 (112)	105 (94)	97 (87)	94 (84)
4 600	2 100	120 (107)	100 (89)	93 (83)	90 (80)
4 900	2 200	114 (102)	95 (85)	88 (79)	85 (76)
5 100	2 300	109 (97)	91 (81)	85 (76)	82 (73)
5 300	2 400	104 (93)	87 (78)	82 (73)	78 (70)
5 500	2 500	101 (90)	84 (75)	78 (70)	75 (67)
5 700	2 600	96 (86)	81 (72)	75 (67)	73 (65)
6 000	2 700	93 (83)	77 (69)	72 (64)	69 (62)
6 200	2 800	90 (80)	75 (67)	69 (62)	67 (60)
6 400	2 900	86 (77)	72 (64)	67 (60)	65 (58)
6 600	3 000	86 (75)	69 (62)	65 (58)	63 (56)
6 800	3 100	81 (72)	67 (60)	63 (56)	60 (54)
7 100	3 200	78 (70)	65 (58)	60 (54)	59 (53)
7 300	3 300	76 (68)	64 (57)	59 (53)	57 (51)

[1] Les calculs relatifs aux rangs écartés de 18 cm (7 po) sont basés sur une densité de peuplement de 450 000 plants/ha (180 000 plants/ac).

[2] Les calculs relatifs aux rangs écartés de 36 cm (14 po) sont basés sur une densité de peuplement de 400 000 plants/ha (160 000 plants/ac).

[3] Les calculs relatifs aux rangs écartés de 53 cm (21 po) sont basés sur une densité de peuplement de 400 000 plants/ha (140 000 plants/ac).

[4] Les calculs relatifs aux rangs écartés de 71 cm (28 po) et plus sont basés sur une densité de peuplement de 325 000 plants/ha (132 000 plants/ac). La densité de peuplement finale est basée sur un taux de germination de 90 % et sur un taux de levée de 90 %.

des semences sont liées aux conditions météorologiques pendant la croissance et à la récolte l'année précédente. En effet, la grosseur des semences peut varier jusqu'à 20 % d'une année à l'autre.

Les taux de semis indiqués dans le tableau 4–10, *Taux de semis recommandés pour le soya*, ci-dessus, donnent de bons peuplements si 90 % des semences lèvent. On doit augmenter le taux de semis si le pouvoir germinatif ou la vigueur est faible ou si les sols ont tendance à s'encroûter. Les cultivars de soya qui ont moins de résistance à la verse profitent de populations légèrement moins denses que celles indiquées dans le tableau.

Si l'on veut semer jusqu'à la mi-juin, il faut augmenter le taux de semis de 10 à 20 %. Les cultivars réagissent semblablement à la modification du taux de semis. Voici la formule servant à déterminer la quantité de semences nécessaires par mètre (pied) de rang :

$$\text{Quantité de semences nécessaires par m (pi) de rang} = \frac{\text{Population souhaitée par m (pi) de rang}}{\text{\% de germination x \% de levée prévue}}$$

Profondeur de semis

Il est important de semer à une profondeur uniforme. Compte tenu des besoins élevés en eau pour la germination, il faut semer à une profondeur de 1 cm (environ ½ po) dans la couche humide du sol (ne pas dépasser 7,5 cm (3 po)). Cela est cependant problématique avec certains semoirs à céréales, surtout dans les champs qui ont fait l'objet d'un travail minimal ou d'un semis direct. Pour obtenir la profondeur souhaitée, il suffit d'appliquer de la pression sur le semoir, d'y ajouter de la pesanteur ou d'utiliser un système de coutre. Il est important de mettre la semence en contact avec le sol et de s'assurer que le sillon est fermé. La clé du succès consiste à semer dans un sol humide à l'aide d'un semoir de précision ou d'un semoir à céréales bien réglé. Si l'on n'arrive pas à semer dans la terre humide à l'aide d'un semoir à céréales, il faut songer à utiliser un semoir de précision plutôt que d'attendre la pluie.

La levée des cultivars semés à plus de 5 cm de profondeur (2 po) varie d'un cultivar à l'autre. Les producteurs de semences fournissent habituellement une « cote de levée » ou cote d'élongation de l'hypocotyle, qui sert à mesurer la capacité de levée des graines semées plus profondément que d'habitude.

Encroûtement

L'encroûtement de la surface du sol dû à une pluie battante ou à la formation de flaques d'eau peut nuire à la levée du soya. En fait, la croûte peut casser l'hypocotyle (la partie du plant qui soutient les cotylédons au-dessus de la surface du sol). Si le sol a tendance à s'encroûter, il faut briser la croûte avant que les plantules ne commencent à percer la surface du sol.

Travailler légèrement le sol avec une houe rotative, une herse, un système de coutre ou même un semoir

Tableau 4–11.
Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits[1]

% par rapport à un peuplement complet	Rendement final prévu en % du rendement optimal	Plants par hectare			
		Rangs de 18 cm (7 po)	Rangs de 36 cm (14 po)	Rangs de 53 cm (21 po)	Rangs de 76 cm (30 po)
100	100	553 300	402 600	392 700	405 100
80	100	442 100	323 600	313 700	323 600
60	100	331 000	242 100	237 100	244 500
40	87	222 300	160 600	158 100	163 000
20	62	111 200	81 500	79 000	81 500

1 hectare = 2,47 acres

[1] Essais menés aux Centres de recherches de Huron et de Kemptville, en Ontario, Université de Guelph.

de précision ou un semoir à céréales peut aider à briser la croûte du sol et à faciliter la levée des semences. Habituellement, ces opérations réduisent de 10 % le nombre de plants qui lèvent. On risque d'en perdre davantage si l'hypocotyle perce la surface. Il n'est peut-être pas nécessaire de briser la croûte dans le cas des peuplements clairsemés (p. ex. 60 %), qui ont déjà la possibilité d'atteindre leur rendement potentiel. Pour déterminer le potentiel de rendement, voir le tableau 4–11, *Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits*, ci-dessus.

Croissance des plants

Le tableau 4–12, *Stades végétatifs du soya*, p. 125, et le tableau 4–13, *Stades reproductifs du soya*, p. 126, indiquent les stades de croissance du soya.

Les deux premières feuilles du plant de soya sont unifoliées (une seule foliole) et opposées; elles se forment au niveau du premier nœud, au-dessus des cotylédons. Les feuilles subséquentes sont trifoliées (trois folioles) et alternes. Après l'apparition de deux ou trois feuilles trifoliées, les nodosités, indispensables à la fixation de l'azote atmosphérique, apparaissent sur les racines.

Si on sème les plants de soya au moment optimal, ils forment de cinq à huit feuilles avant la floraison. Les facteurs principaux du déclenchement de la floraison sont l'allongement des journées et le réchauffement de la température. Comme les cultivars de soya très hâtifs sont presque insensibles à la durée des journées, la floraison dépend principalement de l'accumulation d'unités thermiques. Les cultivars tardifs, eux, dépendent de la durée des journées. Par conséquent, les cultivars tardifs semés dans des régions où la saison de croissance est longue mettent moins de jours à venir à maturité que les cultivars hâtifs.

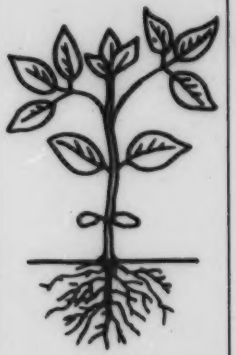
La plupart des cultivars de soya commerciaux en Ontario sont indéterminés, c'est-à-dire qu'ils continuent de croître et de produire de nouvelles feuilles après le début de la floraison. Un nombre restreint de cultivars de soya en Ontario sont déterminés et atteignent une certaine hauteur. Ces cultivars atteignent leur hauteur maximale avant la floraison, qui est de courte durée. En général, les gousses les plus basses des grands cultivars déterminés sont plus hautes que celles des cultivars indéterminés.

Germination et levée

La germination débute lorsque la graine absorbe l'humidité du sol jusqu'à ce que sa teneur en eau soit d'environ 50 %. La levée de la radicule (racine séminale) est le premier signe externe de germination. Celle-ci pousse vers le bas et s'ancre dans le sol. Peu après, l'hypocotyle (la partie de la tige au-dessus de la radicule) commence à pousser vers le haut en tirant les cotylédons (feuilles séminales) avec lui. On voit à la planche 50, p. 330, l'élongation de l'hypocotyle et le déploiement des cotylédons des stades VE à VC.

Une fois levé, l'hypocotyle, en forme de crochet, se redresse, les cotylédons se replient vers le bas et le point végétatif est exposé au soleil. Normalement, la levée se produit de quatre à quatorze jours après le semis, selon l'humidité et la température du sol, et la profondeur des semis.

Tableau 4–12. Stades végétatifs du soya
(Les stades V ne sont pas tous inclus.)

						
Symbole[1]	VE	VC	V1	V3	V5	Vn
Stade	Levée	Cotylédon	Premier nœud	Troisième nœud	Cinquième nœud	N^bre de nœuds
Feuilles trifoliées	0	0	1	3	5	n
N^bre de jours pour atteindre ce stade[2]	10	5	~ 5 jours/feuille trifoliée pleinement développée.			~ 3 jours/feuille trifoliée (V6–Vn)
Durée du stade en jours[3]	5–15	3–10	3–10	3–10	3–10	
Notes	• Les plantules lèvent de terre. • L'encroûtement peut nuire à la levée.	• L'hypocotyle se redresse et les cotylédons s'ouvrent. • Les feuilles unifoliées s'ouvrent. • Le point végétatif est au-dessus de la surface du sol. • La gelée peut tuer le plant. • Si la tige est sectionnée en dessous des cotylédons, le plant meurt.	• La première feuille trifoliée s'ouvre au niveau du premier nœud. • Début de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes.	• Il y a des feuilles trifoliées au niveau de trois nœuds. • Fin de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes. • La fixation de l'azote débute lentement.	• Il y a des feuilles trifoliées au niveau de cinq nœuds. • La perte de 50 % des feuilles a peu d'incidence sur le rendement final. • Les cultivars de soya hâtifs atteignent le stade R1 au stade V4 environ.	• Le nombre de nœuds est lié à la cote de maturité, à la date de semis et aux conditions climatiques.

[1] Le symbole « V » renvoie aux stades végétatifs du soya. Le symbole « Vn » correspond au nombre de nœuds sur la tige principale qui comprennent des feuilles pleinement développées, y compris la feuille unifoliée. On entend par feuille pleinement développée une feuille au-dessus de laquelle se trouve une autre feuille ouverte (au niveau du nœud suivant).

[2] Estimation du nombre de jours qu'il faut pour passer d'un stade à l'autre.

[3] Estimation du nombre de jours que dure un stade de croissance précis. Il est influencé par la date de semis, la cote de maturité et les conditions climatiques, et peut varier considérablement pendant une saison et d'une saison à l'autre.

Tableau 4–13. Stades reproductifs du soya

Lorsqu'on évalue un champ de soya, il faut tenir compte du fait que chaque stade végétatif (V) ou reproductif (R) est atteint lorsqu'au moins 50 % des plants sont parvenus à ce stade ou l'ont dépassé.

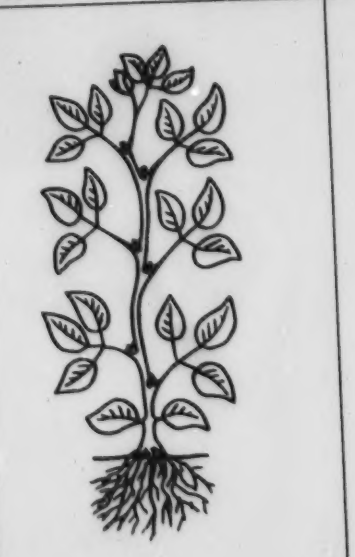
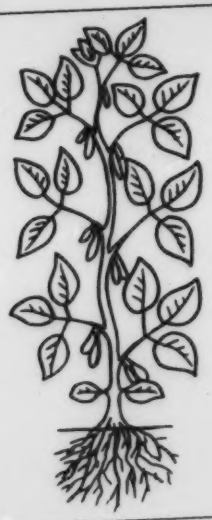
				
	R1 – Début floraison Une fleur est épanouie à n'importe quel nœud sur la tige principale.	**R2 – Pleine floraison** Des fleurs sont épanouies aux nœuds les plus hauts sur la tige principale.	**R3 – Premières gousses** Des gousses courtes sont visibles sur les nœuds les plus hauts sur la tige principale et portant une feuille pleinement développée.	**R4 – Remplissage des gousses** Des gousses de 2 cm (3/4 po) de long sur les nœuds les plus hauts sur la tige principale.
Stade R[1]	V4–V7	V5–V10	V8–V13	V11–V16
Stade V correspondant[2]	3	8	10	10
N^bre de jours pour atteindre ce stade[3]	1–10	3–15	4–22	6–25
Durée du stade en jours[4]	Floraison	Floraison	Développement des gousses	Développement des gousses
Événement cible	• La floraison est déclenchée par l'allongement des journées et le réchauffement de la température. • La première fleur apparaît au cinquième nœud (V4), puis les autres ailleurs sur la tige. • Les racines croissent plus rapidement. • Une température extrême (plus de 32 °C) peut réduire la croissance des plants, la floraison et le développement des gousses.	• 50 % de la hauteur et du poids sec accumulés. • Normalement, le stress n'affecte pas le rendement. • La fixation de l'azote augmente rapidement.	• Deux à trois graines par gousse. • Pic de floraison.	• Tout stress qui se produit entre les stades R4 et R6 peut entraîner une réduction importante du rendement.
Notes				

Tableau 4–13. Stades reproductifs du soya (suite)

				
	R5 – Premières graines Les gousses les plus hautes contiennent des graines de 0,3 cm de long.	**R6 – Grossissement des graines** Les gousses les plus hautes contiennent des graines qui remplissent la cavité.	**R7 – Début de la période de maturité** L'une des gousses sur la tige principale est brune.	**R8 – Maturité** 95 % des gousses sont brunes.
Stade R[1]	V14–V19	V17–V21		
Stade V correspondant[2]	14	27	7	
N^bre de jours pour atteindre ce stade[3]	10–22	20–40	1–30	
Durée du stade en jours[4]	Développement des graines	Développement des graines	Maturité des plants	Maturité des plants
Événement cible	• La floraison est complète, sauf pour quelques ramifications. • Les plants ont atteint la hauteur, le nombre de nœuds et la surface foliaire maximaux. • Le taux de fixation de l'azote atteint son maximum et commence à diminuer. • Absorption de nutriments et redistribution aux gousses rapides.	• Les gousses ont atteint leur longueur maximale. • La croissance des racines ralentit considérablement. • Le gain de poids sec au-dessus du sol ralentit. • Les feuilles commencent à jaunir rapidement. • Les feuilles du bas commencent à tomber.	• La teneur en eau des graines commence à diminuer. • Les plants ont atteint leur maturité physiologique et leur poids sec maximal. • La teneur en eau des graines est d'environ 60 %.	• La teneur en eau indiquée pour la récolte est atteinte de une à deux semaines après le stade R8.
Notes				

[1] Le symbole « R » renvoie aux stades reproductifs du soya.

[2] En Ontario, où la majorité des cultivars de soya sont indéterminés, les stades végétatifs et reproductifs ont tendance à se chevaucher.

[3] Estimation du nombre de jours qu'il faut pour passer d'un stade à l'autre.

[4] Estimation du nombre de jours que dure un stade de croissance précis. Il est influencé par la date de semis, la cote de maturité et les conditions climatiques, et peut varier considérablement pendant une saison et d'une saison à l'autre.

Décisions concernant la reprise des semis

Il ne faut pas évaluer prématurément un peuplement de soya médiocre. Par exemple, il n'est pas obligatoire de réensemencer les champs dont le peuplement est réduit de 50 % si la perte des plants est uniforme et que le peuplement est sain. Chaque année, on réensemence des champs de soya inutilement. En fait, de nombreuses études et l'expérience des producteurs ont démontré que conserver un peuplement existant est souvent beaucoup plus avantageux que de réensemencer, car la reprise des semis ne garantit pas un peuplement parfait.

Il n'existe aucune formule sur laquelle fonder la décision de reprendre les semis. Chaque décision doit être prise au cas par cas. Voici quelques facteurs à prendre en considération :

- la densité et la santé du peuplement existant : le taux de semis recommandé prévoit une marge de sécurité pour assurer la levée d'un peuplement convenable;
- la cause de la faible densité de peuplement : plusieurs facteurs peuvent contribuer à réduire la densité de peuplement, notamment l'encroûtement, les dommages causés par les herbicides, le gel, la grêle, les insectes et les maladies. Par exemple, lors d'une année pluvieuse, la fonte des semis a tendance à être causée par deux champignons, le *Pythium* et le *Phytophthora*. Le cas échéant, s'il faut réensemencer le peuplement, il faut envisager d'utiliser un cultivar résistant au *Phytophthora* et traiter en plus les semences;
- l'uniformité du peuplement restant;
- le rendement potentiel du peuplement existant par rapport à celui d'un peuplement réensemencé. Le rendement potentiel commence à diminuer après la date de semis optimale et suit la même tangente en juin (voir le tableau 4–7, *Incidence des dates de semis sur le rendement, la hauteur des plants et la maturité*, p. 121);
- les coûts de la reprise des semis et les coûts supplémentaires que pourrait entraîner la lutte contre les mauvaises herbes dans les peuplements clairsemés.

Compensation et espacement des plants (vides)

Les plants de soya ont une capacité remarquable de compenser pour les vides dans les peuplements clairsemés. En effet, les plants peuvent combler des vides entre les plants atteignant jusqu'à environ 30 cm (12 po), à l'intérieur ou entre des rangs sans que cela réduise le rendement, à condition qu'ils ne soient pas soumis à la concurrence des mauvaises herbes. D'après des études en Ontario, une réduction uniforme de 33 % des plants d'un peuplement n'a aucune incidence significative sur le rendement.

Les plants d'un peuplement clairsemé se ramifient considérablement, ce qui leur donne de la pesanteur et les rend moins résistants à la verse. Les plants ramifiés ont tendance à produire plus de gousses près du sol. Par conséquent, les pertes de récolte peuvent être plus importantes dans ces peuplements. Lors d'essais en peuplements clairsemés, la verse n'est devenue un problème que lorsque les populations chutaient à moins de 60 % d'un peuplement complet. La réduction des peuplements est rarement uniforme.

Évaluation des réductions de peuplement

Il est impératif de ne pas prendre une décision hâtive concernant la reprise des semis. L'agriculteur doit faire une évaluation précise de la densité de peuplement, de l'espacement et de la santé des plants qui restent. Pour déterminer la densité de peuplement, on peut utiliser la méthode du cerceau mentionnée sous la rubrique *Déterminer la densité de peuplement de la culture et les niveaux d'infestation des ravageurs*, p. 2.

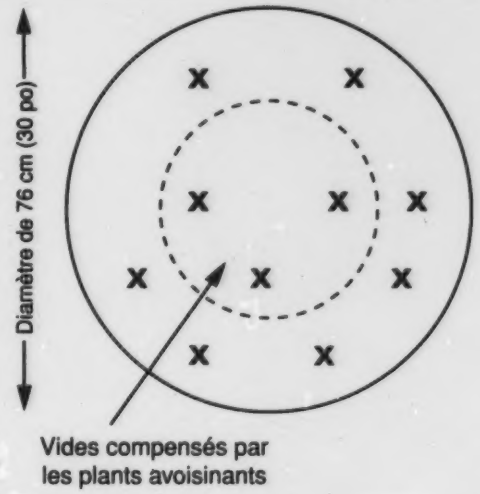
Le tableau 4–11, *Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits*, p. 124, offre une estimation du rendement potentiel comparativement à celui d'un peuplement complet, d'après des recherches menées en Ontario. Il est important de noter que ce tableau est basé sur le nombre de plants sains qui restent dans un peuplement clairsemé, lorsque les plants sont espacés de façon uniforme et ne sont pas soumis à la concurrence des mauvaises herbes. Voir aussi la figure 4–2, *Champ à peuplement réduit*, p. 129.

Évaluation du rendement après une reprise des semis

On se sert des chiffres du tableau 4–11, p. 124, pour déterminer le pourcentage de rendement d'un champ semé à temps et dont le peuplement est réduit. Ce rendement potentiel n'est réalisé que si les plants restants demeurent en santé et exempts de mauvaises herbes. Il faut comparer le rendement potentiel d'un peuplement de ce genre à celui d'une culture semée tardivement.

Réensemencement des peuplements clairsemés

Dans le cas de l'établissement médiocre d'un peuplement, le fait de réensemencer le peuplement existant le long des semences établies afin de combler les vides améliore rarement le rendement. En effet, cette méthode de réparation entraîne souvent des problèmes de choix du moment des activités de lutte



Le 15 juin, un peuplement de soya réduit semé en pleine surface (rangs de 18 cm) affichait en moyenne dix plants sains par cerceau de 76 cm (30 po) de diamètre. Cela équivaut à une densité de peuplement de 222 220 plants (10 x 22 222 plants)/ha (voir le tableau 1–3, *Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations de ravageurs à l'aide d'un « cerceau »*, p. 4). Le rendement potentiel de ce peuplement équivaut à 90 % de celui d'un peuplement complet (voir le tableau 4–11, *Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits*, p. 124). La reprise des semis n'est pas justifiée du fait de la réduction du rendement potentiel et de l'augmentation des coûts.

Figure 4–2.
Champ à peuplement réduit

contre les mauvaises herbes et de récolte. Si le peuplement de soya est trop clairsemé, le seul moyen d'augmenter considérablement le rendement est de reprendre les semis.

Fertilisation

Azote

Les engrais azotés ne sont habituellement pas nécessaires à la culture du soya. (Voir la rubrique *Inoculation*, p. 119.) Des recherches sur l'application d'engrais azotés au moment du semis indiquent que même de faibles doses d'azote peuvent retarder la fixation aux nœuds.

Dans le cas où les nœuds ne se forment pas et que les plants de soya, vert pâle, révèlent une carence en azote, il est recommandé d'appliquer, sous forme d'urée ou de nitrate d'ammonium et de calcium, 50 kg d'azote/ha à l'apparition de la première fleur, lorsque la surface du feuillage est sèche.

Phosphate et potasse

Les recommandations relatives au phosphate et à la potasse pour le soya figurent au tableau 4–14, *Doses de phosphate et de potasse recommandées pour le soya d'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO*, p. 130. À l'occasion, le soya révèle une carence en potassium sous la forme de jaunissement ou de brunissement du pourtour des feuilles les plus vieilles (voir planche 51, p. 330).

Pour plus de renseignements sur l'utilisation de ce tableau ou si une analyse de sol reconnue par le MAAARO n'a pas été effectuée, consulter la rubrique *Recommandations d'engrais*, p. 36.

Méthodes d'application

L'engrais ne doit pas entrer en contact avec la semence de soya à cause des risques de dommages par les sels des engrais. Contrairement au maïs, le soya ne bénéficie pas d'une telle pratique. L'engrais peut être épandu à la volée, puis enfoui, ou incorporé au sol, à l'automne ou au printemps. On peut aussi le placer à une distance de 5 cm (2 po) à côté de la semence et de 5 cm (2 po) au-dessous, au moyen d'un semoir de précision pourvu d'un outil spécialement conçu pour la fertilisation. Pour plus d'information, voir le tableau 2–30, *Doses maximales sûres des éléments fertilisants*, p. 54.

Analyse des tissus végétaux

Pour le soya, il est recommandé d'échantillonner la première feuille pleinement développée du haut (trois folioles plus tige) à l'apparition des premières fleurs (voir le tableau 4–15, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le soya*, p. 131). Si l'échantillonnage a lieu à tout autre moment, il faut prélever des échantillons provenant à la fois de zones saines et de zones problématiques, afin de pouvoir établir des comparaisons pertinentes.

Il faut aussi prélever un échantillon de sol au même endroit et au même moment que l'échantillon de tissus.

Oligo-éléments

Manganèse

Le manganèse est le seul oligo-élément pour lequel une carence a été signalée dans le soya en Ontario, mais on peut s'attendre à ce que des carences en zinc se manifestent à l'avenir sur les terres où le sol de surface a été emporté par l'érosion.

Lorsqu'il y a carence en manganèse, les feuilles supérieures tournent au vert pâle quand la carence est

Tableau 4–14.
Doses de phosphate et de potasse recommandées pour le soya d'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO

Teneur en phosphore (ppm) évaluée au bicarbonate de sodium	Cote	Phosphate (P_2O_5)[1] à appliquer en kg/ha	Teneur en potassium (ppm) évaluée à l'acétate d'ammonium	Cote	Potasse (K_2O)[1] à appliquer kg/ha
0–3		80	0–15		120
4–5	BASSE	60	16–30	BASSE	110
6–7		50	31–45		90
8–9		40	46–60		80
10–12	MOYENNE	30	61–80		60
13–15		20	81–100	MOYENNE	40
16–30	ÉLEVÉE	0	101–120		30
31–60	TRÈS ÉLEVÉE	0	121–150	ÉLEVÉE	0
61 +	EXCESSIVE[2]	0	151–250	TRÈS ÉLEVÉE	0
			251+	EXCESSIVE[2]	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Lorsqu'on épand du fumier, il faut réduire la dose d'engrais selon le volume et la qualité du fumier (voir la rubrique *Fumier*, p. 23). Exemple de fertilisation : Dans un champ de soya sans épandage de fumier, où l'on trouve des teneurs de 9 ppm en phosphore et de 85 ppm en potassium, les besoins sont évalués à 40 kg de phosphate et 40 kg de potasse/ha (voir ci-dessus). On fournit ces éléments fertilisants en épandant, à la volée ou en bandes, 200 kg d'engrais 0-20-20/ha.

[2] Lorsque l'analyse du sol montre une teneur excessive en un élément fertilisant, un apport de cet élément par l'engrais ou le fumier peut entrainer une diminution du rendement ou de la qualité de la récolte. La surfertilisation avec du phosphate peut augmenter le risque de pollution de l'eau. Un apport de potasse risque de causer une carence dans les sols pauvres en magnésium.

légère, puis presque au blanc quand elle est prononcée, bien que les nervures restent vertes (planche 52, p. 331). Les analyses de sol et de tissus permettent également de prédire à quels endroits des carences en manganèse sont susceptibles de se produire. Les laboratoires accrédités par le MAAARO, présentés dans l'annexe B, *Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario*, p. 303, sont en mesure de faire ces deux analyses.

On peut remédier à cette carence en pulvérisant sur les feuilles, aussitôt que possible, 2 kg de manganèse élémentaire/ha provenant de sulfate de manganèse (8 kg de sulfate de manganèse/ha) dans 200 L d'eau. Il est recommandé d'ajouter un mouillant-adhésif au produit à pulvériser. Une deuxième pulvérisation peut s'avérer nécessaire aux endroits où la carence est prononcée.

Il faut faire attention quand on épand des oligo-éléments avec un pulvérisateur que l'on a déjà utilisé pour appliquer des herbicides. Il est crucial de nettoyer le réservoir afin d'éviter d'endommager les cultures. Pour plus d'information, voir la rubrique *Dommages causés par les herbicides*, p. 155.

L'épandage de manganèse sur le sol est déconseillé, quelle qu'en soit la source, car de grandes quantités sont nécessaires. De plus, les applications de manganèse chélaté au sol réduisent le rendement.

En général, le soya réagit bien à un apport en manganèse dans les parties du champ qui affichent une carence en cet élément nutritif. Il n'y a aucun avantage à appliquer du manganèse sur des plants de soya qui ne présentent pas de symptômes de carence.

Récolte et entreposage

Minimiser les pertes de récolte

Les cultures de soya sont moissonnées directement, de préférence au moyen d'une moissonneuse-batteuse munie d'une barre de coupe flottante flexible et d'un tablier automatique réglable. On peut récolter le soya lorsque sa teneur en eau est inférieure à 20 %; cependant, il faut l'entreposer à une teneur en eau de 14 % ou moins.

Les pertes de récolte et les dommages mécaniques risquent d'être considérables si le soya est récolté à une teneur en eau inférieure à 12 %. Une perte de seule-

Tableau 4–15.
Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le soya

Élément fertilisant	Unité	Concentration critique[1]	Concentration normale maximale[2]
Azote (N)	%	4,0	6,0
Phosphore (P)	%	0,35	0,5
Potassium (K)	%	1,2	2,5
Calcium (Ca)	%	-	3,0
Magnésium (Mg)	%	0,10	1,0
Bore (B)	ppm	20,0	55,0
Cuivre (Cu)	ppm	4,0	30,0
Manganèse (Mn)	ppm	14,0	100,0
Molybdène (Mo)	ppm	0,5	5,0
Zinc (Zn)	ppm	12,0	80,0

Ces valeurs se rapportent à la dernière feuille pleinement développée du haut (trois folioles plus tige) à l'apparition de la première fleur.

[1] On prévoit une perte de rendement due à une carence en éléments fertilisants lorsque la concentration de l'élément fertilisant baisse au niveau critique ou y est inférieure.

[2] Les concentrations normales maximales sont plus qu'adéquates, mais ne causent pas nécessairement de toxicité.

ment 4 graines/900 cm^2 (4 graines/pi^2) représente une perte globale de 67 kg/ha (1 bo/ac). On peut minimiser les pertes en maintenant la vitesse de moisson de 4 à 5 km/h (2,4 à 3 mi/h). Il est recommandé de régler la vitesse du rabatteur selon la condition des cultures.

La barre de coupe flottante peut servir à une coupe plus près du sol des plants de soya. La soufflerie doit être réglée afin de fournir le plus d'air possible sans envoyer les gousses dans l'élévateur de retour ou derrière la moissonneuse-batteuse. Il faut aussi régler la grille supérieure pour permettre à la soufflerie de séparer les gousses et la paille et ajuster le crible de sorte qu'il ne laisse passer que les graines de soya. Ces réglages doivent être modifiés en fonction des conditions météorologiques et des cultures.

L'entretien du tablier est important. Les couteaux et les doigts doivent être bien affûtés, car cela crée une contreplaque permettant de couper rapidement les plants. L'installation de courroies sur le rabatteur à battes ou l'ajout d'un rabatteur avec soufflerie pour les plants minuscules permet de charger les graines dans la moissonneuse-batteuse plus rapidement.

La majorité des pertes surviennent au niveau du tablier.

Si le tablier ne réussit pas à couper tous les plants :

- vérifier les couteaux et les doigts;
- songer à réduire la vitesse d'avancement au sol.

Qualité et préservation de l'identité

Avant la récolte

Si la culture de soya est destinée à un marché de soya à identité préservée, il faut prendre des mesures spéciales pour protéger la qualité des graines. Les taches et les dommages mécaniques sont les problèmes les plus courants à la récolte. Les taches peuvent être causées par des mauvaises herbes, des graines immatures, la saleté et la poussière. Les dommages mécaniques, eux, peuvent entrainer le rejet d'un chargement au complet. Avant la récolte, il faut nettoyer de fond en comble les moissonneuses-batteuses, les camions, les remorques ainsi que les silos et autres équipements de manutention afin de prévenir toute contamination. Il faut aussi examiner les champs afin de déceler les plants indésirables et les cultures spontanées (p. ex. le maïs), ainsi que vérifier que les rangs situés le long des clôtures et des routes ne contiennent aucun morceau de verre, de métal, de poteau, etc. Afin d'éviter de tacher les grains de vert, on doit attendre que les plants de soya et les mauvaises herbes soient tout à fait secs avant la récolte. Il faut parfois arracher les mauvaises herbes telles que la morelle noire de l'Est et le raisin d'Amérique avant la récolte ou les éviter avec la moissonneuse-batteuse.

Récolte et entreposage

Si l'on vient de récolter une culture ou un cultivar différent, il faut d'abord récolter une petite superficie séparément afin de s'assurer que la moissonneuse-batteuse est propre. De plus, cet essai permet de vérifier la teneur en eau de la culture et le réglage de la moissonneuse-batteuse. L'agriculteur doit superviser les moissonneurs contractuels pour s'assurer que l'équipement est prêt pour la récolte. Il doit également garder avec lui une copie du contrat de soya à identité préservée afin de respecter les consignes de qualité au moment de la récolte. Entre autres, il faut commencer la récolte plus tard dans la journée et la terminer plus tôt comparativement aux récoltes de soyas commerciaux, afin de *ne pas* tacher les graines. Une fois contaminée, la moissonneuse-batteuse est difficile à nettoyer. Il vaut mieux récolter lorsque la teneur en eau est d'environ 14 %; cela évite d'utiliser une autre méthode de séchage que le séchage à l'air ambiant. Il faut récolter le soya quand

sa teneur en eau est d'au moins 12 %, ainsi que le manipuler soigneusement, pour empêcher le tégument de fendiller. L'agriculteur doit régler la moissonneuse-batteuse à mesure que les conditions changent pendant la journée. Il est à noter que les réglages effectués dans le but de réduire les dommages mécaniques peuvent accroître la quantité d'impuretés; cependant, les primes offertes aux agriculteurs sont suffisantes pour les dédommager de ces pertes. Les soyas à identité préservée doivent être entreposés dans des silos distincts des autres cultivars, ainsi que des autres céréales et oléagineux. Si le soya est cultivé en vertu d'un contrat, nombre de ces exigences sont probablement explicitées dans le contrat signé. Avec ou sans contrat, toute violation peut résulter en une réduction des primes.

Il est important d'évaluer la qualité de graines à la récolte afin de modifier les processus de moisson et de manutention. Cela réduit davantage le risque d'endommagement des graines. Pour plus d'information sur l'endommagement du tégument des graines de soya, voir la figure 4–3, *Test de trempage du soya à l'hypochlorite*, p. 133.

Séchage du soya

Séchoirs à grains

En général, l'agriculteur utilise l'un des trois types de séchoirs à céréales suivants :

1. cellules sécheuses;
2. séchoirs discontinus;
3. séchoirs continus.

Ces trois grandes catégories de séchoirs comprennent différentes sous-catégories. Il n'y a pas de système supérieur aux autres en tout point. Le choix de séchoir dépend donc des caractéristiques désirées. Ces dernières incluent notamment la capacité de séchage, la qualité des graines, l'efficacité énergétique ou de séchage (BTU/lb d'eau retirée), le caractère pratique, la main-d'œuvre nécessaire, la possibilité de sécher divers types de cultures, l'entretien nécessaire et les coûts d'investissement.

Tous les séchoirs font circuler l'air à travers la masse de graines afin d'en évaporer l'humidité et d'évacuer la vapeur d'eau à l'extérieur. On ajoute de la chaleur pour réduire l'humidité relative, ce qui améliore la capacité de l'air à absorber l'humidité des graines. Les graines humides peuvent être séchées à des températures plus élevées, car elles refroidissent à mesure que leur teneur en eau baisse; les graines atteignent graduellement la température de l'air pendant le séchage. Plus les graines demeurent en contact avec l'air chaud, plus elles deviennent sèches et chaudes.

Séchage du soya à l'air chaud et à l'air froid

On récolte parfois le soya à une teneur en eau plus élevée en raison d'un temps pluvieux. Il arrive aussi qu'on le récolte plus tôt que d'habitude pour minimiser les pertes. Toutes les méthodes de séchage peuvent être adaptées au soya en limitant l'utilisation de la chaleur et en modifiant les pratiques de manutention.

Il faut faire attention quand on utilise de l'air chaud pour sécher le soya gourd, c'est-à-dire les graines dont la teneur en eau est plus élevée que la teneur recommandée pour l'entreposage sûr à long terme. On doit maintenir le degré d'humidité relative de l'air de séchage au-dessus de 40 % afin d'empêcher le tégument de fendiller. Des tests ont démontré que seulement cinq minutes d'exposition à une température élevée peuvent faire fendiller 100 % des graines. C'est pourquoi, dans la majorité des cas, une température de séchage maximale de 55 à 60 °C (131–140 °F) est recommandée. Si les conditions de séchage sont bonnes, il peut être préférable de réduire la température de séchage afin de limiter le fendillement du tégument. Pour évaluer l'efficacité du séchoir, il faut, avant et après le séchage, vérifier le nombre de graines fendillées.

Le soya de semence doit être séché à une température inférieure à 40 °C (104 °F). Par contre, l'utilisation de la chaleur ne doit être tentée qu'après plusieurs années d'expérience. Certains fournisseurs de semences désapprouvent toute utilisation de chaleur dans le conditionnement du soya de semence. Il est préférable de communiquer avec l'entreprise qui achètera la semence pour connaître la méthode qu'elle privilégie pour le conditionnement de graines gourdes.

Pour ce qui est des cellules sécheuses, il faut faire attention quand on utilise un système qui demande de déplacer les graines dans le silo au moyen de dispositifs de brassage. Les dommages causés par la manutention peuvent être considérables, plus particulièrement si la teneur en eau chute à 12 %.

Séchage à l'air ambiant

Le ventilateur ne doit pas fonctionner 24 heures sur 24, car les graines redeviennent alors humides la nuit. Ainsi, les progrès réalisés le jour disparaissent le soir. Une gestion soignée du fonctionnement du ventilateur est cruciale pour un séchage réussi.

Le soya gourd peut être séché à l'air ambiant si les conditions de séchage sont bonnes. Le séchage à l'air ambiant exige une gestion soignée de la part de l'opérateur, car le soya absorbe et perd de l'humidité

Test de trempage du soya à l'hypochlorite

Introduction

Le test de trempage est un moyen rapide d'évaluer les dommages au tégument des graines de soya. On l'effectue principalement pendant la récolte afin de réduire les dommages mécaniques dus à la moisson et à la manutention des graines. Les échantillons sont testés au champ, et les ajustements appropriés sont apportés pour réduire les dommages à moins de 10 % des graines. Le test de trempage permet également de déterminer les processus qui causent des dommages à l'intérieur des installations de conditionnement.

Marche à suivre

1. Diluer 1 partie d'eau de javel dans 5 parties d'eau pour obtenir une solution à 1 % d'hypochlorite de sodium. *Nota* : des dilutions aussi faibles que 1:43 ont déjà été utilisées.
2. Se procurer plusieurs contenants en plastique peu profonds (semblables à des boîtes de Pétri) qui peuvent contenir 100 graines de soya chacun.
3. Prélever un échantillon de graines au hasard. Compter quatre réplicats de 100 graines en excluant les graines fendues ou comportant toute autre brisure. Placer le tout dans un contenant en plastique. *Nota* : On peut fabriquer une planche à compter en perçant 100 trous d'un quart de pouce de diamètre dans une planche de 6½ sur ¼ sur ½ po.
4. Submerger chaque réplicat de 100 graines pendant 10 minutes.
5. Enlever les graines gonflées avec des pinces.
6. Calculer la moyenne de graines gonflées par réplicat. Si elle est supérieure à 10 %, régler la moissonneuse-batteuse ou modifier le processus de manutention, de manière à réduire les dommages.

Évaluation

À la suite d'un trempage de 10 minutes, il est généralement possible de séparer les graines en trois catégories différentes :

1. Les graines fermes, qui n'absorbent pas la solution. Elles sont peu ou pas du tout endommagées.

2. Les graines ridées, qui absorbent une faible quantité de solution, ce qui produit des cloques sur le tégument. Elles sont très légèrement endommagées.

3. Les graines gonflées, qui absorbent la solution et sont de deux à trois fois leur grosseur initiale. Certaines ont une grosse cloque, tandis que d'autres ont tendance à se défaire. On considère que ces graines sont endommagées.

Figure 4–3.
Test de trempage du soya à l'hypochlorite

Source : Iowa State University of Science and Technology – Seed Testing Laboratory, Seed Science Centre, 1992.

Tableau 4–16.
Teneur en eau d'équilibre (% à l'état humide) du soya exposé à l'air selon la température et le taux d'humidité relative

Température		Humidité relative (%)				
(°C)	(°F)	50	60	70	80	90
0	32	10,0	11,8	13,7	16,2	19,8
5	41	9,8	11,5	13,5	15,9	19,6
10	50	9,5	11,2	13,2	15,7	19,4
15	59	9,2	11,0	13,0	15,5	19,2
20	68	9,0	10,7	12,8	15,2	19,0
25	77	8,7	10,5	12,5	15,0	18,8

facilement. Il ne faut démarrer le ventilateur que lorsque les conditions extérieures sont propices au processus de séchage.

Exigences minimales pour le séchage à l'air ambiant

- Silo ayant un faux fond complètement perforé;
- surface nivelée à la grandeur de la cellule de stockage;
- débit d'air minimal de 6,5 L/sec/m^3 (0,5 pi^3/min/bo), l'idéal étant un débit plus élevé;
- graines nettes (ni gousse ni accumulation de particules fines);
- mesure exacte de la teneur en eau des graines dans la cellule de stockage;
- mesure exacte de la température de l'air et de l'humidité relative à l'extérieur;
- compréhension de la teneur en eau d'équilibre du soya;
- ventilateur comprenant un interrupteur marche-arrêt.

Un faux fond complètement perforé permet à l'air de circuler de façon uniforme dans toute la masse. En fait, un faux fond partiellement perforé ou un réseau de conduits d'air crée des zones mortes et, éventuellement, des problèmes d'altération. La présence de gousses, de déchets et d'accumulations de particules fines entrave la circulation de l'air ou la dévie. L'air qui circule dans la masse de soya prend le chemin offrant le moins de résistance.

Détermination du débit d'air

Il faut un débit d'air suffisant pour déplacer l'air de séchage dans toute la masse de soya. Pour enlever l'humidité, il faut un débit d'air minimal de 6,5 L/sec/m^3 (0,5 pi^3/min/bo). Un débit inférieur à 6,5 L/sec/m^3 ne change que la température et non la teneur en eau du soya, tandis qu'un débit d'au moins 26 L/sec/m^3 (2 pi^3/min/bo) ne fait qu'accélérer le processus. Pour déterminer le débit d'air nécessaire pour une cellule de stockage en particulier, il suffit de calculer la capacité de la cellule en pieds cubes et la pression statique à laquelle se heurte le ventilateur. En fait, un simple manomètre relié à la chambre de répartition d'air chaud située sous le plancher perforé permet de mesurer la pression statique en pouces de colonne d'eau (voir l'annexe I, *Manomètre de fabrication artisanale*, p. 312). Pour connaître le débit d'air propulsé par le ventilateur à la pression statique mesurée, il faut utiliser la courbe de rendement du ventilateur. Il suffit de diviser le rendement en pi^3/min du ventilateur par le nombre de boisseaux que contient la cellule de stockage. Si le débit d'air est insuffisant, on peut y remédier, entre autres, en ne remplissant le silo que partiellement. Ainsi, le ventilateur est moins touché par la pression statique, et le débit d'air par boisseau augmente.

Teneur en eau d'équilibre

Des chercheurs ont mis au point des tableaux des teneurs en eau d'équilibre qui permettent de prévoir la teneur en eau finale des graines de soya après leur exposition à l'air à une certaine température et à une certaine humidité relative (voir le tableau 4–16, *Teneur en eau d'équilibre (% à l'état humide) du soya exposé à l'air selon la température et le taux d'humidité relative*, ci-contre). Pour déterminer, par exemple, la teneur en eau d'équilibre du soya exposé à l'air extérieur à une température de 10 °C (50 °F) et à 70 % d'humidité relative, on doit trouver le point d'intersection de la rangée de 10 °C (50 °F) et de la colonne de 70 % d'humidité relative. Ce point correspond à la teneur en eau d'équilibre du soya pour les conditions mentionnées ci-dessus. Avec le temps, la teneur en eau du soya finit par s'abaisser à 13,2 %.

Calcul du taux d'humidité relative

Il n'est pas toujours facile de mesurer avec précision le taux d'humidité relative de l'air extérieur. Dans certains cas, on peut communiquer avec une station météorologique. Cependant, il est important que les conditions atmosphériques de la station correspondent à celles de l'endroit où l'on se trouve. Par exemple, pour sécher le soya à l'air, il faut connaître le taux exact d'humidité relative de l'air extérieur. Ne pas utiliser un hygromètre domestique pour mesurer le taux d'humidité relative pour le séchage à l'air du soya gourd, car il a tendance à ne pas être précis. Il est recommandé de se procurer un psychromètre fronde ou un hygromètre de bonne qualité, au coût de 100 $ environ.

Fonctionnement du ventilateur

Le fonctionnement du ventilateur ne doit pas dépendre de l'heure de la journée, mais de la température et du taux d'humidité relative de l'air. En effet, certains jours, le séchage peut être effectué entre 9 h et minuit, tandis que d'autres, il ne peut être effectué qu'entre 9 h et 18 h. Il est important de vérifier la température et le taux d'humidité relative de l'air à plusieurs reprises au cours de la journée. Il faut en fait que l'air extérieur soit plus sec que l'air intérieur afin de faire progresser le front de séchage. Si, à un moment donné, la teneur en eau d'équilibre est inférieure à la teneur en eau des graines les plus humides, il est possible de sécher le soya et le ventilateur devrait fonctionner. On peut installer un humidistat qui active le ventilateur à un taux d'humidité préétabli, l'opérateur n'ayant qu'à en régler le taux d'humidité.

Les graines qui se trouvent dans le haut de la cellule de stockage sont les dernières à sécher. Chaque jour de fonctionnement du ventilateur, le front de séchage se déplace un peu plus vers le haut de la cellule. Il se peut que le front de séchage n'atteigne pas la surface aussi rapidement que prévu. Il faut s'assurer de prélever des échantillons de graines à la même profondeur chaque fois pour savoir à quel point la teneur en eau change à cette profondeur. Les graines qu'on met à sécher dans un silo muni d'un dispositif de brassage devraient avoir une teneur en eau relativement homogène.

Lutte contre les mauvaises herbes

Période critique

> La période critique s'étend du stade de la première feuille trifoliée à celui de la troisième feuille trifoliée du soya (de V2 à V3).

Le maintien d'un bon programme de lutte contre les mauvaises herbes durant la période critique suffit à limiter les pertes de rendement à moins de 5 %. Les mauvaises herbes qui germent par la suite ont peu d'incidence sur les rendements et produisent relativement peu de graines.

L'étiquette des herbicides de postlevée indique le stade de croissance des mauvaises herbes où les mesures de lutte donnent un maximum de résultats. Le moment d'intervention choisi doit tenir compte à la fois de la période critique pour la culture et du stade de croissance de la mauvaise herbe où le produit est le plus efficace.

Pertes dues aux mauvaises herbes

L'inspection des cultures est essentielle pour déterminer les espèces de mauvaises herbes présentes dans le champ et leurs densités de peuplement. Certaines mauvaises herbes sont plus concurrentielles que d'autres. Le tableau 4–17, *Perte de rendement du soya due aux mauvaises herbes*, p. 136, affiche les pertes de rendement comparatives dues à diverses espèces de mauvaises herbes.

On doit tenir compte de la concurrence exercée par les mauvaises herbes quand on décide de traiter les mauvaises herbes ayant échappé aux traitements antérieurs. Les estimations incluses dans le tableau 4–17, p. 136, sont fondées sur des conditions météorologiques normales et sur un taux d'humidité du sol adéquat. Elles supposent également que les mauvaises herbes ont levé en même temps que la culture. Les pertes de récolte peuvent s'accroître si le sol est plus sec et varier en fonction des conditions de stress.

De plus, il faut prendre note de l'incidence des populations de mauvaises herbes sur la qualité de la récolte et sur les méthodes de récolte. Par exemple, la morelle noire de l'Est ne menace pas les rendements outre mesure, mais elle peut avoir des conséquences désastreuses sur la qualité de la récolte.

Résistance aux herbicides

Des mauvaises herbes résistantes aux herbicides poussent en Ontario. En effet, on a trouvé en 1974 les premières mauvaises herbes résistant aux herbicides à base de triazine. Aujourd'hui, plusieurs espèces de dicotylédones et de graminées y sont résistantes. En 1997, on a aussi trouvé des plants d'amarante réfléchie résistant aux inhibiteurs de l'acétolactate synthase (ALS) (herbicides du groupe 2). Récemment, en 2000, on a découvert que certains plants de morelle noire de l'Est et de petite herbe à poux étaient résistants à certains herbicides ALS.

Normalement, les mauvaises herbes deviennent résistantes aux herbicides à la suite d'une utilisation répétée du même type d'herbicide. Le cas échéant, l'agriculteur peut retarder l'apparition d'une résistance et la gérer une fois qu'elle s'est manifestée en adoptant des principes de lutte intégrée contre les mauvaises herbes.

Lutte intégrée contre les mauvaises herbes

La maîtrise des mauvaises herbes dans les cultures de soya est influencée par :

- la rotation des cultures;

Tableau 4–17.
Perte de rendement du soya due aux mauvaises herbes
Pertes de récolte dans l'hypothèse où les mauvaises herbes lèvent en même temps que la culture.

	Perte de rendement du soya due aux mauvaises herbes (%)		
	1 plant/ m^2	5 plants/ m^2	25 plants/ m^2
Dicotylédones annuelles			
Lampourde glouteron	15	41	65
Morelle noire de l'Est[1]	14	40	64
Grande herbe à poux	14	40	64
Chénopode blanc	13	38	63
Amarante réfléchie	12	36	62
Chénopode blanc (résistant à l'atrazine)	10	33	60
Herbe à poux	10	33	59
Amarante réfléchie (résistante à l'atrazine)	9	30	58
Abutilon	6	23	51
Moutarde des champs	5	20	49
Renouée persicaire	4	15	41
Renouée liseron	4	15	41
Graminées annuelles			
Maïs spontané	4	15	41
Sétaire géante	3	12	36
Panic millet	3	12	36
Panic d'automne	2	10	33
Pied-de-coq	3	12	36
Sétaire verte	2	8	29
Sétaire glauque	1	5	20
Panic capillaire	1	4	18
Digitaire	1	4	15
Mauvaises herbes vivaces			
Chardon des champs	5	20	49
Asclépiade	5	20	49
Laiteron des champs	5	20	49
Chiendent	4	18	45
Prêle	3	12	36
Souchet	2	7	29

Cette liste a été adaptée du Herbicide Application Decision Support System 2001.

[1] Les pertes occasionnées par la morelle noire de l'Est touchent la qualité du soya.

- l'espacement des rangs;
- les caractéristiques des cultivars;
- les pratiques de travail du sol.

En général, les pratiques agronomiques qui favorisent une culture saine à croissance rapide sont celles qui permettent à la culture de livrer la concurrence la plus vive aux mauvaises herbes.

La rotation des cultures peut être efficace pour réduire certaines mauvaises herbes vivaces. En effet, une rotation incluant du soya peut permettre l'application d'herbicides différents ou l'adoption de pratiques de travail du sol qui sont particulièrement efficaces contre certaines espèces de mauvaises herbes. L'utilisation d'herbicides de contact dans des cultures de soya semées directement s'est avérée efficace dans la maîtrise des mauvaises herbes telles que le chiendent et le chardon.

Les rangs étroits et des densités de peuplement plus importantes peuvent augmenter la densité du couvert végétal et ralentir la croissance des mauvaises herbes, mais il faut bien soupeser les avantages de la lutte contre les mauvaises herbes et les autres exigences des cultures. En effet, le fait de semer tôt permet parfois d'établir un couvert concurrentiel avant la levée des mauvaises herbes. Cependant, l'une des stratégies clés de lutte contre les mauvaises herbes dans les cultures de soya biologiques demeure l'utilisation d'un système de travail du sol au printemps afin de stimuler la germination des mauvaises herbes. Il suffit après de travailler le sol avant le semis afin de détruire la première vague de mauvaises herbes. Cette opération retarde toutefois la date de semis et peut, par conséquent, réduire le rendement. Si l'agriculteur prévoit sarcler entre les rangs, il faut que ceux-ci soient suffisamment larges pour le permettre.

Les graines de mauvaises herbes peuvent être transportées d'un champ à l'autre par, entre autres, la moissonneuse-batteuse, le matériel de travail du sol et les forces érosives. Les mauvaises herbes peuvent également être apportées par les épandages de fumier ou autres amendements du sol. L'assainissement et le nettoyage du matériel, ainsi que l'entretien des pourtours du champ, sont autant de facteurs qui influencent la maîtrise à long terme des mauvaises herbes dans le champ.

Consulter la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour plus d'information, notamment sur les produits herbicides et sur les doses.

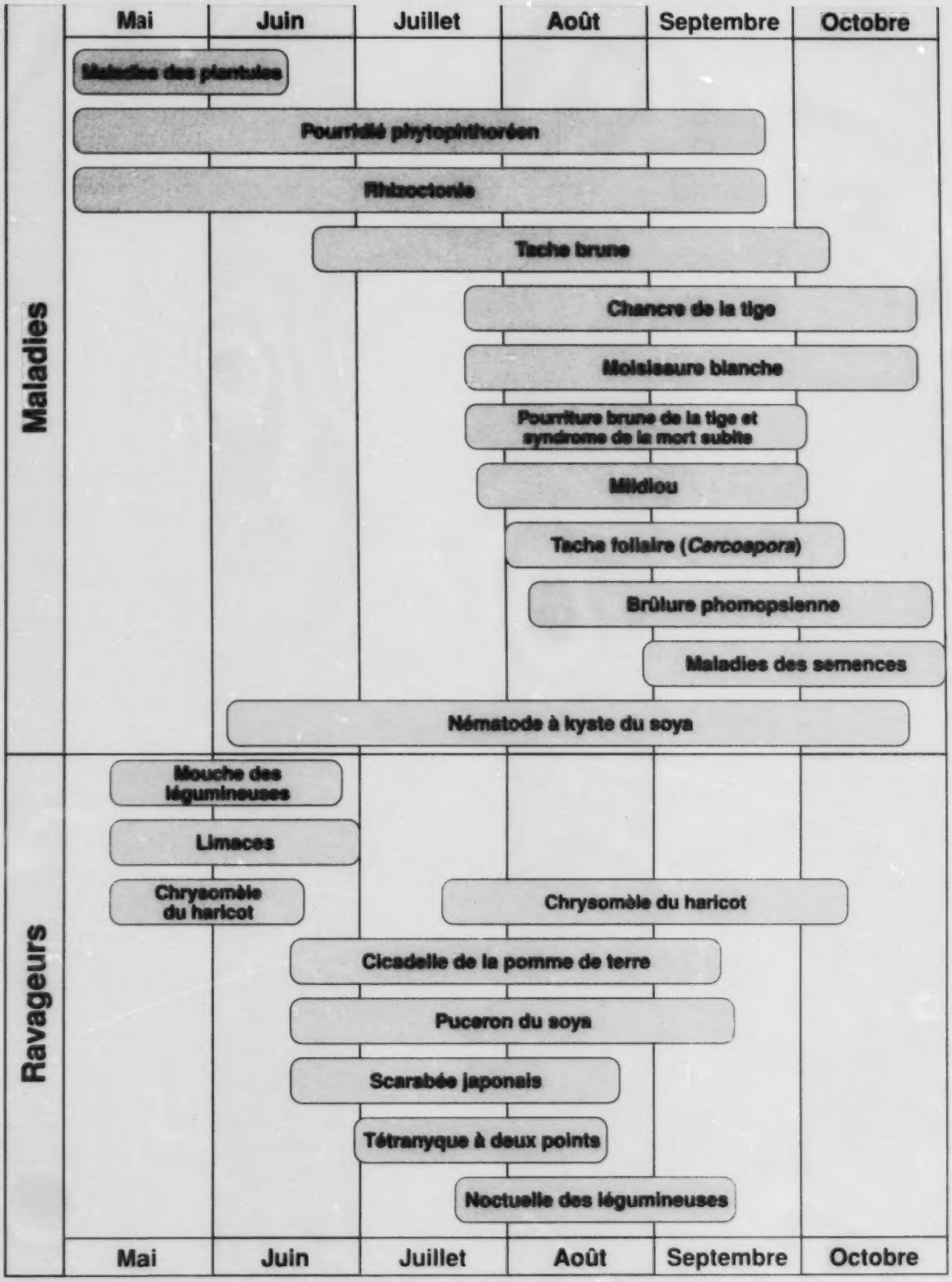


Figure 4–4.
Calendrier de dépistage des ennemis du soya

Ravageurs

Le tableau 4–18, *Symptômes observés dans le champ*, ci-dessous, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les symptômes décrits.

On trouve après le tableau la description des ravageurs et des maladies du soya et les moyens recommandés pour les combattre.

Tableau 4–18.
Symptômes observés dans le champ

Symptôme	Ravageurs							
	Chrysomèle du haricot	Sauterelles	Scarabée japonais	Cicadelle de la pomme de terre	Mouche des légumineuses	Limace	Puceron du soya	Tétranyque à deux points
Peuplement clairsemé								
Galerie creusée dans le cotylédon, l'embryon ou l'hypocotyle					x	x		
Trous dans les feuilles								
Trous aux contours déchiquetés (font penser aux dommages causés par la grêle)						x		
Trous ronds dans les feuilles	x	x	x					
Feuilles déformées ou décolorées								
Pointe des feuilles jaune ou roussi				x				
Petits points blancs sur la face supérieure des feuilles, feuilles jaunies								x
Feuilles cloquées, rabougrissement des plants (les feuilles peuvent être collantes)							x	

Mouche des légumineuses

Description : La mouche des légumineuses est une petite larve apode et sans tête, de couleur blanc jaunâtre (voir planche 53, p. 331). Le corps de la larve est fuselé vers l'avant et ses pièces buccales comportent deux petits crochets rétractiles. La larve creuse dans les graines en germination et dans les parties enterrées des plantules en train de lever, affaiblissant les plantules. L'adulte ressemble à une petite mouche domestique élancée, de couleur gris pâle et d'environ 5 mm de long.

Cycle biologique : Les mouches des légumineuses adultes s'accouplent, et les femelles cherchent des endroits de ponte d'avril à la mi-juin. Elles sont attirées par les sols humides qui dégagent une odeur de matière organique en décomposition, comme les sols recouverts de fumier ou les sols fraîchement travaillés. Les femelles sont aussi attirées par les mauvaises herbes. Les adultes pondent leurs œufs dans le sol. Les larves se développent ensuite dans le sol et dans les résidus organiques, en se nourrissant de graines en germination.

Dommages : Habituellement, la mouche des légumineuses occasionne des problèmes lorsque le printemps est frais et pluvieux, quand la germination est retardée. Les larves de la mouche des légumineuses se nourrissent de graines gonflées n'ayant pas encore germé. On les trouve dans le cotmylédon, l'embryon et l'hypocotyle. La lenteur de la levée ou la réduction de la densité de peuplement sont des indices de l'activité des mouches des légumineuses. Souvent, les jeunes plants qui survivent et arrivent à germer meurent ou prennent du retard par la suite.

Techniques de dépistage : Contrairement aux dégâts causés par le ver fil-de-fer, les dommages occasionnés par la mouche des légumineuses se manifestent habituellement sur de grandes étendues ou sur la plus grande partie du champ. Rien ne peut être fait pour

sauver un champ endommagé, sauf reprendre les semis, au besoin. Les facteurs de haut risque à surveiller comprennent : sol fraîchement travaillé avec abondance de résidus de culture, fumier fraîchement épandu, engrais vert fraîchement enfoui, semis profond conjugué à du temps frais et à un retard dans la levée.

Seuils d'intervention : Aucun seuil disponible.

Stratégies de lutte : Envisager de faire subir un traitement insecticide à la semence lorsque celle-ci est destinée à des champs qui doivent être semés tôt si de grandes quantités de fumier ou de résidus ont récemment été incorporés au sol ou si les champs ont été labourés peu de temps auparavant. Utiliser de la semence de bonne qualité, qui lève rapidement. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures,* pour connaître les produits homologués recommandés. Il n'existe pas de traitement permettant de sauver une culture.

Limaces

Description : Les limaces, jeunes et adultes, sont molles, apodes, de couleur grisâtre ou tachetées. Elles sont également visqueuses, ce qui les empêche de sécher. Leur tête comprend deux paires de tentacules. En général, les limaces mesurent de 1 à 3 cm de long, mais atteignent parfois 10 cm.

Cycle biologique : Bien qu'il ne naisse qu'une génération de limaces par an, il y a néanmoins deux populations, l'une venant à maturité au printemps, l'autre à l'automne. Par conséquent, les œufs et les adultes hivernent tous les deux. Les jeunes éclosent au printemps et à l'automne; les limaces sont actives par temps frais et pluvieux. Elles préfèrent un environnement très humide et relativement frais. Elles se mettent à l'abri du soleil sous des débris tels que des résidus de récolte et du fumier.

Dommages : Les limaces se nourrissent dans la terre ou au-dessus du sol, selon le taux d'humidité. Elles se nourrissent tant de graines en germination que de plantules; elles ne préfèrent aucune partie d'un plant à une autre (voir planche 54, p. 331). Pour ce qui est des plants plus grands, les limaces se nourrissent des parties inférieures, dévorant les feuilles en tout ou en partie et laissant des trous aux pourtours déchiquetés dans les feuilles, qui ont l'air décharné (voir planche 55, p. 331). Les dommages peuvent ressembler à ceux occasionnés par la grêle, et une défoliation considérable peut en résulter. Cependant, la principale crainte concernant les plantules est que les limaces se nourrissent souvent du point végétatif, ce dont les plantules ne peuvent se remettre. Normalement, les dommages se produisent entre avril et octobre, lorsque le temps est pluvieux. Les dégâts les plus considérables surviennent durant de longues périodes de temps frais et pluvieux en mai et juin. Les champs les plus à risque sont ceux où l'on pratique la monoculture du soya en semis direct et ceux qui sont recouverts d'une abondante couche de résidus de culture. Les cultures de soya en semis direct à la suite d'une culture de fourrage ou de couverture sont aussi très vulnérables.

Techniques de dépistage : Il est recommandé de chercher les limaces la nuit ou tôt le matin, quand elles sont actives (elles sont nocturnes). Chercher des feuilles dépourvues de tissu végétal ou comportant des petits trous. Il faut aussi regarder sous les débris et les mottes de terre. La traînée baveuse et argentée qu'elles laissent derrière elles à la surface du sol ou des plants révèle leur présence. Vérifier 1,5 m de rang à cinq endroits (sous des mottes et des résidus de végétaux).

Seuils d'intervention : La prévention est la seule solution possible.

Stratégies de lutte : On peut travailler le sol pour lutter contre les limaces, car l'élimination de la culture de couverture les expose à la déshydratation et aux prédateurs, soit les mammifères et les oiseaux. Le travail du sol par bandes et l'utilisation de socs bineurs peuvent accélérer l'assèchement des rangs visés, ce qui, par conséquent, éloigne les limaces. Le fait de déblayer les plantules de tout débris peut aider à réduire les dommages occasionnés par les limaces. Il n'y a actuellement aucune méthode insecticide rentable et efficace pour lutter contre les limaces. Pour toute méthode de lutte insecticide éventuelle, consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Cicadelle de la pomme de terre

Description : La cicadelle adulte est un insecte ailé vert pâle, au corps cunéiforme, d'environ 3 mm de long et qui possède des pièces buccales de type perceur-suceur (voir planche 56, p. 331). Les adultes ont la tête plus large. Leur corps s'affine graduellement en allant vers le bout des ailes. Le derrière de la tête est ponctué de six

taches blanches rondes. Les nymphes n'ont pas d'ailes et sont plus petites que les adultes.

Cycle biologique : La cicadelle de la pomme de terre n'hiverne pas en Ontario. Elle migre généralement vers le nord chaque printemps, portée par les fronts climatiques venant du sud, depuis le golfe du Mexique. Les adultes arrivent généralement à la fin du printemps. Ils se nourrissent d'abord de luzerne et d'autres légumineuses vivaces. Les cicadelles n'apparaissent généralement sur les plants de soya qu'à la fin de juin, une fois la luzerne fauchée. Parfois, de grandes populations adultes arrivent du sud du jour au lendemain et endommagent les plantules de soya. Les femelles pondent leurs œufs dans les nervures principales et les pétioles des feuilles. Le passage d'œuf à adulte prend environ deux à trois semaines.

Dommages : La cicadelle s'alimente en perçant le tissu végétal et en en suçant la sève. Elle endommage les cellules vasculaires, ce qui obstrue les nervures et fait en sorte que des éléments nutritifs et des produits s'accumulent dans la feuille. À leur tour, les feuilles s'enroulent et développent des cloques. Graduellement, le pourtour des feuilles devient roussi. Ces symptômes sont appelés « brûlure de la cicadelle ». Les rangs périmétriques sont les premiers touchés. Comme les pertes de rendement surviennent avant même que la brûlure de la cicadelle ne soit observable, il ne faut pas se fier à la présence de la brûlure pour intervenir. Les cicadelles ont tendance à s'attaquer aux champs de soya et de haricots comestibles une fois les champs de luzerne avoisinants fauchés. Les symptômes de la cicadelle de la pomme de terre sont souvent confondus avec des problèmes occasionnés par des herbicides, des carences nutritives et un stress hydrique. Les principaux facteurs de risque sont les saisons chaudes plus sèches que la normale.

Tableau 4–19.
Seuils d'intervention contre la cicadelle de la pomme de terre dans le soya à gousses comestibles (adultes et nymphes)

Stade de croissance	Seuil – cicadelles par feuille trifoliée
Feuille unifoliée	0,25
Deuxième feuille trifoliée	0,5
Quatrième feuille trifoliée	1,0
Première fleur	2,0

Seuils d'intervention : La présence de fortes populations de cicadelles de la pomme de terre sur des cultivars de soya à feuilles pubescentes n'entraîne pas nécessairement des pertes de rendement. Pour ce qui est des cultivars non pubescents, voir le tableau 4–19, *Seuils d'intervention contre la cicadelle de la pomme de terre dans les haricots comestibles (adultes et nymphes)*, ci-dessus. Nota : Il s'agit des seuils pour les haricots comestibles.

Stratégies de lutte : En général, la cicadelle de la pomme de terre n'occasionne pas beaucoup de dommages dans les cultures de soya. Quant aux cultivars fortement pubescents, les poils sur les feuilles empêchent l'insecte de se nourrir du tissu végétal en créant une sorte de barrière qui rend l'accès aux feuilles difficile pour les pièces buccales suceuses de la cicadelle. Cependant, certains cultivars de soya, notamment le soya de consommation humaine, n'ont pas de poils leur permettant de se protéger contre la cicadelle de la pomme de terre.

Puceron du soya

Description : Le puceron du soya est un petit puceron (pas plus gros qu'une tête d'épingle) de couleur vert lime aux cornicules noires et à la queue jaune pâle (voir planche 57, p. 332). Certains adultes sont ailés, d'autres pas. Les nymphes, aptères, sont plus petites que les adultes.

Cycle biologique : D'origine asiatique, le puceron du soya a été découvert en Amérique du Nord en 2000 et en Ontario en 2001. Pour compléter son cycle biologique, l'insecte doit compter sur deux hôtes principaux. En effet, les pucerons du soya hivernent en tant qu'œufs sur les branches de nerprun. Au printemps, les nymphes éclosent, et les pucerons vivent pendant deux générations sur le nerprun, comme femelles aptères. La troisième génération se transforme en adultes ailés qui migrent vers les plants de soya. Les pucerons continuent par la suite de produire des générations aptères jusqu'à ce que les plants de soya soient fortement infestés et que leur qualité diminue. Ensuite, ils produisent des pucerons ailés qui migrent vers d'autres plants qui deviendront à leur tour fortement infestés. On peut compter jusqu'à 18 générations de pucerons par an. À l'instar de la plupart des espèces de pucerons, les pucerons du soya sont tous des femelles qui donnent naissance à des nymphes vivantes, qu'elles portaient en elles à la naissance. Les mâles ne voient le jour qu'à l'automne pour que les femelles puissent s'accoupler avec eux et pondre des œufs, qui hivernent.

Dommages : Le puceron du soya s'alimente en perçant le tissu végétal grâce à une pièce buccale tubulaire et en en suçant la sève. Les feuilles de plants moyennement ou fortement infestés commencent à cloquer, à s'enrouler et à se déformer. Les plants peuvent se rabougrir. Si les populations de pucerons sont extrêmement importantes, elles peuvent entraîner la réduction du nombre de gousses et de graines produites. Les dommages occasionnés par le puceron du soya ont plus tendance à causer une réduction du rendement si les plants souffrent déjà de conditions de sécheresse ou d'autres types de stress. De plus, le puceron du soya excrète une substance gluante, appelée miellat, qui peut agir comme substrat au développement de fumagine grise. Le puceron peut également être le vecteur du virus de la mosaïque du soya (voir la rubrique *Mosaïque du soya*, p. 153). Les champs qui sont le plus à risque sont ceux subissant un stress, car les plants sont moins tolérants aux dommages occasionnés par les pucerons qui s'alimentent.

Seuils d'intervention : Aucun seuil disponible.

Stratégies de lutte : Le puceron du soya a plusieurs ennemis naturels, y compris les larves de la coccinelle (voir planche 58, p. 332), de la punaise anthocoride et des syrphes; ils aident à lutter contre cet insecte. Un pathogène peut aussi infecter le puceron du soya, mais il lui faut de la chaleur et de l'humidité pour être efficace. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les produits recommandés. On ne doit utiliser des insecticides que dans des cas extrêmes, car ils tuent les ennemis naturels de l'insecte et peuvent entraîner le retour en force des populations de pucerons.

Tétranyque à deux points

Description : Adulte, le tétranyque à deux points est pratiquement invisible à l'œil nu. Mesurant entre 0,5 et 1 mm de long, cet insecte brun jaunâtre a le corps rond, huit pattes et deux taches foncées sur les côtés de l'abdomen (voir planche 59, p. 332). Les larves ressemblent aux adultes, sauf qu'elles ont six pattes au lieu de huit. Aux deux stades nymphaux, les tétranyques ressemblent aux adultes et ont quatre paires de pattes. Les femelles hivernantes, elles, sont orange ou rouges.

Cycle biologique : En général, les tétranyques à deux points hivernent en tant que femelles adultes en se servant, entre autres, des débris végétaux et des bordures des champs comme abri. Les champs de blé contre-ensemencés de trèfle rouge constituent un autre site d'hivernage important. En effet, le trèfle rouge procure de la nourriture au tétranyque jusqu'à la gelée, ce qui lui permet de survivre à même le champ. À la fin avril, quand la température se réchauffe, le tétranyque commence à chercher de la nourriture et des sites de ponte. Les tétranyques se déplacent en rampant; les infestations ont donc tendance à s'étendre lentement depuis les bordures des champs. Les femelles non accouplées se réunissent sur le faîte des plants et tissent une toile qui, agissant comme une « montgolfière », se gonfle sous l'effet des grands vents et les amène à un autre site. Les femelles peuvent se reproduire sans s'accoupler. En fait, une seule femelle peut être le point de départ de toute une colonie. Dans des conditions chaudes, sèches et venteuses, les infestations peuvent se propager très rapidement. Il peut y avoir jusqu'à sept générations par an, leur période de croissance se chevauchant. Des pluies fréquentes et du temps frais peuvent réduire les populations de tétranyques dans les champs de soya.

Dommages : Le tétranyque à deux points s'alimente du contenu des cellules végétales sur le revers des feuilles grâce à des pièces buccales ressemblant à des stylets. Des points surgissent aux endroits rongés par le tétranynique. Les pointillés sévères font jaunir, enrouler ou brunir les feuilles (voir planche 60, p. 333). Lorsqu'on examine de près, on aperçoit une fine toile sur le revers des feuilles. Les symptômes peuvent être confondus avec les dégâts occasionnés par l'eau ou les herbicides en bordure des champs. Les dommages les plus considérables surviennent par temps chaud et sec, habituellement à la mi-juillet, après la récolte du blé d'automne. Parmi les champs les plus à risque, il faut mentionner les champs avoisinants ceux de chaume de blé d'automne et de foin, ainsi que les talus des fossés et les bordures des champs qui hébergent les tétranyques hivernants. Sont aussi à risque les cultures de soya en semis direct semées immédiatement après une culture de blé d'automne contre-ensemencée de trèfle rouge.

Techniques de dépistage : Parcourir les champs vers la première semaine de juillet. Les infestations, qui vont du bord des champs vers l'intérieur, se présentent sous forme de points névralgiques. Il faut chercher des petits points blancs sur l'envers des feuilles du milieu du couvert végétal. Le cas échéant, tourner les feuilles pour voir si des taches foncées se déplacent lentement (il faut parfois une loupe simple grossissant 10 fois pour voir les tétranyques).

RAVAGEURS

Seuils d'intervention : La présence d'au moins quatre tétranyques par feuille ou d'une feuille gravement endommagée par plant avant le stade de remplissage des gousses peut signifier un problème.

Stratégies de lutte : Si le nombre de tétranyques dépasse le seuil d'intervention, il peut y avoir lieu d'épandre des insecticides. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les produits recommandés. Il est possible de maîtriser les premières infestations en pulvérisant les bordures des champs. En effet, cela permet d'entraver la propagation des tétranyques dans les autres parties du champ et, éventuellement, de réduire le besoin de traitements ultérieurs. S'il y a risque de pluie, il faut retarder la pulvérisation; un temps pluvieux prolongé réduit normalement les populations de tétranyques à un nombre insignifiant. De plus, le semis de cultivars tolérant la sécheresse permet de minimiser l'incidence des tétranyques à deux points. Lorsque les conditions ne sont pas propices à la croissance des tétranyques, les ennemis naturels de ces derniers aident à maintenir des populations faibles. Parmi ceux-ci, il faut mentionner la coccinelle, les thrips et les acariens prédateurs. Du temps frais et un taux d'humidité élevé peuvent favoriser la propagation d'un pathogène pouvant lui aussi maîtriser le tétranyque de façon naturelle.

Insectes défoliateurs

Le soya peut compenser les pertes importantes de feuilles dues à des insectes, et ce, avec très peu d'incidence sur le rendement. Cependant, le stade le plus critique s'étend de la floraison au remplissage des gousses, moment où la croissance des graines dépend beaucoup de la photosynthèse. Une défoliation importante à ce stade peut avoir une incidence sur le rendement, et il peut être nécessaire d'adopter une stratégie de lutte.

Pour estimer les seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs pour le soya, il faut calculer le pourcentage de défoliation pour chaque champ de soya. L'agriculteur doit d'abord sélectionner dix sections du champ, où il prélève de cinq plants, en plein milieu du couvert végétal, des feuilles trifoliées qui viennent de s'ouvrir complètement. Il doit ensuite jeter la foliole la moins endommagée et la foliole la plus endommagée de chacune des feuilles trifoliées. Il compare ensuite les folioles restantes à la figure 4–5, *Tableau de défoliation du soya due aux insectes défoliateurs*, ci-contre, et détermine le pourcentage moyen de défoliation.

Une fois le pourcentage de défoliation établi pour chaque champ, on peut suivre les guides sur les seuils de nuisibilité pour déterminer si une intervention est nécessaire, en fonction, bien entendu, du stade de la culture (voir le tableau 4–20, *Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs pour le soya*, ci-dessous.)

Tableau 4–20. Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs pour le soya

Stade du soya	% de défoliation
Préfloraison (stades végétatifs)	30 %
De la floraison au remplissage des gousses	15 %
Du remplissage des gousses à la maturité (à moins qu'on observe que des gousses ont été dévorées)	25 %

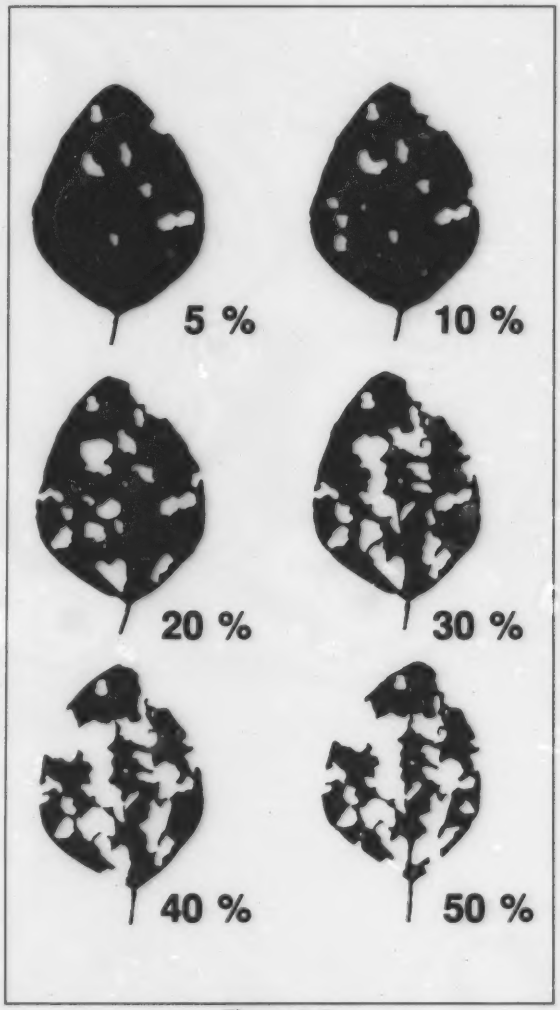


Figure 4–5.
Tableau de défoliation du soya due aux insectes défoliateurs
Source : University of Illinois and Purdue University, 1982.

Chrysomèle du haricot

Description : Adulte, la chrysomèle du haricot mesure environ 5 mm de long et comprend quatre taches noires que l'on trouve habituellement sur les couvertures alaires (voir planche 61, p. 333). Elle se présente sous différentes couleurs, les plus communes étant le jaune-vert, le havane et le rouge. Elle porte un petit triangle noir à la base des couvertures alaires (le prothorax, derrière la tête). Le pourtour des couvertures alaires est noir.

> On confond souvent la chrysomèle du haricot et la chrysomèle maculée du concombre. La chrysomèle du haricot porte un petit triangle noir à la base des couvertures alaires (derrière la tête).

Cycle biologique : Il n'y a qu'une génération de chrysomèles du haricot par an. On a récemment découvert que cet insecte hiverne en Ontario après quelques hivers doux. En effet, l'adulte hiverne dans les terres à bois, les couvertures de feuilles mortes et les débris du sol. À la fin avril, il se réveille et commence à s'alimenter des champs de luzerne avoisinants, jusqu'à la première coupe de la luzerne ou la levée du soya. Par la suite, les femelles fertilisées pondent des œufs orange en forme de citron par petites grappes dans le sol, à la base des plants de soya. La ponte se termine à la fin juin. Les larves se nourrissent des racines et d'autres parties végétales enterrées pendant une trentaine de jours, jusqu'au stade de la pupaison. Les adultes émergent du sol à la fin juillet et commencent à s'alimenter des feuilles et des gousses de soya. Ils continuent de se nourrir jusqu'à ce que les plants soient suffisamment secs pour la récolte. Ils reviennent alors aux champs de luzerne, s'il y en a, ou migrent vers des sites d'hivernage.

Dommages : En règle générale, la défoliation du soya occasionnée par la chrysomèle adulte est négligeable en Ontario. Les dommages causés aux plantules de soya (aux stades V1 à V2) par les adultes hivernants font exception à la règle. Adulte, la chrysomèle fait de petits trous ronds entre les nervures principales des folioles. Le fait qu'elle se nourrit également de gousses est un autre problème. En effet, la chrysomèle s'alimente de la surface des gousses, ne laissant qu'une mince couche végétale pour protéger les graines. Ces lésions accroissent la vulnérabilité des gousses à des maladies secondaires telles que l'alternariose. La principale préoccupation est que la chrysomèle est le vecteur du virus responsable de la marbrure. Ce virus fait en sorte que le plant et les graines deviennent ridés et marbrés, réduisant ainsi la qualité des graines. Pour plus d'information sur cette maladie, voir la rubrique *Marbrure des gousses du haricot*, p. 154.

Techniques de dépistage : Au stade de plantules, l'agriculteur doit sélectionner au hasard au moins cinq sites d'échantillonnage dans le champ. À chaque site, il doit compter soigneusement toutes les chrysomèles sur une distance de 4,5 à 6 m (15–20 pi) de rang. Sans déranger les plants, il doit les vérifier de près de sorte à voir le dessous des feuilles et à calculer la moyenne de chrysomèles par mètre (pied) de rang.

Pour les champs qui ont dépassé le stade de plantules, sélectionner au hasard au moins cinq sites d'échantillonnage dans le champ. Déterminer le pourcentage de défoliation en se basant sur la figure 4–5, *Tableau de défoliation du soya due aux insectes défoliateurs*, p. 142.

Seuils d'intervention : Dans les champs de semences et ceux dont le soya est destiné aux marchés asiatiques, il faut maîtriser la chrysolème afin de prévenir le virus responsable de la marbrure. Le seuil d'intervention pour la chrysolème varie de 16 adultes par pied de rang lorsque le soya est au stade de plantules à plus de 39 adultes par pied lorsqu'il est, au minimum, au stade V2. Si la défoliation dépasse les seuils indiqués dans le tableau 4–20, *Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs pour le soya*, p. 142, il peut y avoir lieu d'effectuer un traitement pour prévenir toute perte de rendement excessive.

Stratégies de lutte : Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les insecticides recommandés. La présence de chysomèles sur les plantules de soya peut nécessiter l'épandage d'insecticides dans le cas de cultures de semences ou des cultures destinées à l'exportation. Normalement, les traitements de secours effectués tard dans la saison ne sont pas rentables en raison de la tolérance du soya à la défoliation et du nombre élevé de chrysomèles nécessaires pour atteindre les seuils d'intervention. En fait, les chrysomèles sont en général plus attirées par les champs semés tôt. L'agriculteur peut envisager de semer le soya de semence ou celui qu'il destine à l'exportation quelques jours plus tard que le soya qui doit être broyé.

RAVAGEURS

Scarabée japonais

Description : Adulte, le scarabée japonais mesure environ 13 mm de long et se reconnaît facilement à sa tête et à son thorax vert métallique brillant, à ses ailes d'un brun cuivré, teintées de vert aux extrémités (voir planche 62, p. 333). Six touffes de poils blanchâtres garnissent aussi chaque côté de son abdomen. Les larves sont blanches, ont la forme d'un « C » et mesurent environ 2 cm de long.

Cycle biologique : Les scarabées japonais hivernent au stade larvaire sous la ligne de gel du sol. Lorsque la température commence à se réchauffer, les larves migrent vers la surface du sol, s'alimentent des racines des plants et se pupifient. Les adultes sortent du sol entre la fin juin et la fin juillet et demeurent actifs pendant 30 à 45 jours. Ils s'accouplent pendant cette période, et les femelles pondent leurs œufs dans le sol humide. Durant les périodes de sécheresse, la ponte peut avoir lieu dans des sols mal drainés, des zones irriguées ou des terrains en jachère où le sol meuble offre un meilleur site de ponte. La ponte se poursuit jusqu'à la fin juillet et en août. Les œufs éclosent en deux semaines environ. Les larves nouvellement écloses se nourrissent des racines situées dans les dix premiers centimètres sous la surface du sol. À la fin septembre, elles commencent à migrer vers un point au-dessous de la ligne de gel pour l'hiver.

Dommages : En général, les larves causent peu de dommages au soya. Les feuilles dont s'alimentent les adultes peuvent toutefois avoir l'air décharné.

Techniques de dépistage : Vérifier au moins 20 plants à au moins 5 endroits et comparer les dommages aux données de la figure 4–5, *Tableau de défoliation du soya due aux insectes défoliateurs*, p. 142.

Seuils d'intervention : Si la défoliation dépasse les seuils indiqués dans le tableau 4–20, *Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs pour le soya*, p. 142, il peut y avoir lieu d'effectuer un traitement de secours pour prévenir toute perte de rendement excessive.

Stratégies de lutte : La lutte chimique n'est recommandée que lorsque les populations de scarabées japonais et les dommages dépassent les seuils d'intervention. Des restrictions phytosanitaires ont été imposées pour le transport de sol, de fumier, de compost, de tubercules et de gazon à pelouse venant de terrains infestés dans plusieurs comtés de l'Ontario et du Québec. Pour plus d'information sur ces restrictions, consulter l'Agence canadienne d'inspection des aliments.

Sauterelles

Description : Il existe plusieurs espèces de sauterelles; leur couleur varie de vert à brun. Les nymphes ressemblent aux adultes, mais elles sont plus petites et leurs ailes sont incomplètes. Les deux s'alimentent en mâchant. Toutes les espèces ont de grandes pattes postérieures leur permettant de sauter.

Cycle biologique : Les sauterelles hivernent au stade d'œuf dans le sol, habituellement dans les champs non cultivés et les pâturages. Les nymphes éclosent au début juin et commencent à se nourrir des plants en train de lever. Les stades nymphaux durent environ deux mois, après quoi les adultes apparaissent, plus tard dans la saison, pour s'alimenter, s'accoupler et déposer dans le sol les œufs qui produiront la population de l'année suivante. Les sauterelles préfèrent pondre des œufs dans des sols sableux et dans des zones enherbées qui ne sont pas travaillées. Du temps sec pendant une ou deux années favorise la survie des œufs et des nymphes.

Dommages : Les adultes et les nymphes se nourrissent de feuilles, de gousses et de graines. De fortes infestations peuvent entrainer la défoliation complète des champs et des pertes de rendement. Les dommages causés par l'alimentation des sauterelles sont habituellement observés en premier sur les pourtours des champs, à proximité des rangées d'arbres ou d'arbustes enherbées. Les champs ensemencés par semis direct, les champs enherbés, les automnes secs et les hivers doux comptent parmi les facteurs de risque élevé.

Techniques de dépistage : Commencer l'inspection à la fin juin, lorsque les sauterelles sont encore jeunes. Inspecter les rangées d'arbres et d'arbustes adjacentes et les bordures enherbées. Vers la fin de la saison, commencer à vérifier les rangs du bord afin de déterminer le stade auquel se trouve le soya ainsi que le taux de défoliation et de dommages aux gousses causés par les sauterelles.

Seuils d'intervention : Si la défoliation dépasse les seuils indiqués dans le tableau 4–20, *Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs pour le soya*, p. 142, il peut y avoir lieu d'effectuer un traitement pour prévenir toute perte de rendement excessive.

Stratégies de lutte : En début de saison, on doit concentrer les efforts de lutte sur les pourtours du champ, là où les populations de nymphes sont élevées. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures,* pour les recommandations sur les insecticides. Plusieurs ennemis naturels, dont les carabes et les grillons, se nourrissent des œufs de sauterelles, tandis que les oiseaux et les araignées mangent les nymphes et les adultes, ce qui contribue à réduire les populations. Le champignon *Entomophthora grylli* peut réduire les populations lorsque le temps est chaud et humide. Un travail du sol destiné à débarrasser le champ et ses pourtours des graminées adventices aide à réduire le nombre de nymphes, car celles-ci ont besoin de ces plants pour survivre. En fait, le travail du sol enfouit les œufs plus profondément dans le sol, ce qui empêche les nymphes de sortir. La lutte chimique est plus efficace lorsqu'elle est dirigée contre les nymphes que contre les adultes.

Maladies

Pourriture des graines et brûlure des plantules

La pourriture des graines et la brûlure des plantules sont occasionnées par un certain nombre de champignons. En Ontario, on associe souvent cinq types de champignons aux problèmes de levée du soya en début de saison : le *Pythium* et le *Phytophthora* (responsables de pourritures aqueuses), le *Phomopsis*, le *Fusarium* et le *Rhizoctonia*. Les principaux symptômes de la fonte des semis sont provoqués par au moins un de ces organismes.

Aspect : Il est difficile de distinguer ces pathogènes, car ils produisent rarement des symptômes caractéristiques. Les semences infectées par ces organismes peuvent pourrir dans le sol ou mourir peu après avoir germé. On parle de « pourriture des graines » lorsque les plantules ne lèvent pas, ce qui crée des « vides » ou des problèmes de densité de peuplement. Les plantules qui réussissent à lever peuvent être infectées elles aussi. On parle alors de « fonte des semis » ou de « brûlure des plantules » dont les symptômes comprennent la croissance retardée, le flétrissement, le dépérissement et/ou la mort des plantules. Dans la plupart des cas, la tige des plantules touchés est « pincée » ou « annelée » près de la ligne de sol. Celles qui semblent avoir des lésions aqueuses et dont les racines ou la partie inférieure de la tige sont brunes ou violacées sont souvent le résultat d'une infection par le *Pythium*, le *Phomopsis* ou le *Phytophthora*. Des lésions rougeâtres ou brunes près de la ligne de sol sont caractéristiques du *Rhizoctonia* et du *Fusarium* respectivement (voir planche 63, p. 333). La croissance et la vigueur des plants qui survivent se trouvent souvent diminuées.

Cycle biologique : Bien que ces organismes puissent se transmettre par les semences, ils sont dans une certaine mesure présents dans la plupart des champs. Les maladies des plantules sont répandues dans les champs dont la température du sol est inférieure à 13 °C (55 °F) en raison d'un temps frais et pluvieux. En fait, ces organismes survivent souvent en tant que saprophytes, se nourrissant de matière végétale vivante ou morte, ou en tant que mycéliums dormants ou spores. Les exsudats des racines des plantules ou des racines en croissance stimulent les champignons inactifs.

Stratégies de lutte : Souvent, les symptômes se manifestent en premier dans les parties basses ou mal drainées du champ. L'amélioration du drainage par l'installation de drains agricoles a pour effet de retirer du sol l'humidité en trop, d'accélérer le réchauffement du sol au printemps et de maintenir un lit de semences bien drainé. La pourriture des graines et la brûlure des plantules peuvent être davantage nuisibles dans les champs ayant fait l'objet d'un semis direct ou d'un travail réduit du sol. La présence d'une abondance de résidus fait en sorte que la température du sol est plus basse et que le sol reste humide plus longtemps que dans les champs qui ont fait l'objet d'un travail du sol traditionnel. Le semis opportun en sol de bon état aide à minimiser les pertes dues au dépérissement en début de saison, peu importe le système de travail du sol employé. Lorsqu'on est aux prises avec ces maladies, la levée rapide et une bonne vigueur en début de saison sont capitales. D'autres facteurs retardent la germination et la levée, notamment les conditions environnementales, le compactage, l'encroûtement et des semis profonds. On recommande de traiter les semences avec des fongicides pour améliorer la germination et la levée. Un retard dans la germination affecte également le rendement de ce type de traitement. En moyenne, un traitement fongicide procure jusqu'à deux semaines de protection. Aucune stratégie ne saurait remplacer des semis faits au bon moment dans un bon lit de semences. Pour connaître les traitements des semences recommandés, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Pourridié phytophthoréen

Incidence : Le pourridié phytophthoréen est un problème potentiel dans les sols argileux lourds du sud-ouest de l'Ontario. Cette maladie demeure l'une des plus dévastatrices dans les cultures de soya de l'Ontario. Elle occasionne des pertes dans la province depuis les années 1960. La maladie a été observée dans le centre et l'est de l'Ontario. L'incidence de la maladie s'accroît avec l'augmentation de la superficie consacrée à la culture du soya dans ces régions.

Aspect : Le pourridié phytophthoréen peut s'attaquer au soya à n'importe quel stade de sa croissance, mais, souvent, il cause plus de dégâts au début de la saison. Les plants infectés au stade cotylédonnaire affichent les symptômes typiques de la « fonte des semis ». Entre autres, les plantules ne lèvent pas ou meurent peu après la levée. De plus, les parties infectées de la tige sont gorgées d'eau ou « meurtries » et se désintègrent facilement (pourriture molle) (voir planche 64, p. 333). Comme cette maladie produit une pourriture aqueuse, il est difficile, à ce stade, de la distinguer de la pourriture pythienne. En effet, les deux maladies entraînent la perte ou la pourriture de la racine pivotante et des radicelles, ce qui cause le jaunissement des feuilles ainsi que le flétrissement ou même la mort des plants. Les plants infectés peuvent être facilement tirés du sol, car ils ne sont pas bien enracinés. Les plants les plus âgés peuvent être touchés à tout moment avant la maturité. La tige des plants flétris peut présenter des taches violacées ou brun foncé s'étendant des racines (juste en dessous de la ligne de sol) aux nœuds inférieurs. De plus, les dépressions dans les champs peuvent contenir des plants morts, par touffes ou quelques-uns d'affilée dans un même rang. Souvent, les feuilles restent attachées aux plants même quand ceux-ci sont morts.

Cycle biologique : Les temps frais et pluvieux sont propices à la propagation du pourridié phytophthoréen. Les parties des champs les plus vulnérables à la maladie sont celles qui sont basses, mal drainées et lentes à sécher. Le fait de semer dans un sol argileux lourd ou dans un champ ayant fait l'objet d'un travail réduit du sol ou d'une monoculture de soya peut faire accroître les dommages dus à la maladie. Le *Phytophthora* et le *Pythium* sont des organismes uniques en ce sens qu'ils produisent des spores mobiles qui peuvent se déplacer dans l'eau pelliculaire entre les particules du sol jusqu'aux racines du soya. Le champignon colonise les tissus des racines et obstrue les tissus conducteurs d'eau du plant, ce qui le fait flétrir. Voir la rubrique *Maladies*, p. 145, pour plus de renseignements sur les caractéristiques uniques au *Phytophthora*.

Stratégies de lutte : Pour maîtriser le pourridié phytophthoréen, il faut choisir divers cultivars de soya, traiter les semences et adopter de bonnes pratiques culturales. Il existe des cultivars de soya résistants ou tolérants au pourridié phytophthoréen; certains y sont à la fois résistants et tolérants. **De préférence, il faut choisir un cultivar qui offre tant une résistance verticale (les gènes Rps 1k et 1c, par exemple) qu'une bonne résistance horizontale (tolérance) à toutes les races du *Phytophthora*. Les cultivars qui ne contiennent que le gène Rps 1a de résistance au *Phytophthora* peuvent ne pas être très efficaces dans nombre de régions de la province. En effet, de nombreuses races du *Phytophthora* peuvent aujourd'hui contourner le gène de résistance Rps 1a. L'agriculteur doit consulter un fournisseur de semences pour connaître les caractéristiques des cultivars, spécialement en ce qui concerne les nouveaux cultivars ou les dernières technologies, y compris la résistance aux herbicides.** Il peut aussi consulter le dernier rapport sur les essais de cultivars de soya en Ontario (*Ontario Soybean Variety Trials*), disponible sur le Web à www.soybean.on.ca, pour plus de détails sur les cotes de perte de plants due au pourridié phytophthoréen et sur les gènes de résistance qu'offrent les cultivars.

1. Cultivars résistants. On trouve dans les sols de l'Ontario différentes races ou souches du champignon *Phytophthora*. Chaque cultivar de soya possède une résistance efficace contre certaines races du champignon, mais pas contre toutes. Le risque de pourridié phytophthoréen est écarté d'un champ donné lorsque le cultivar utilisé est résistant à toutes les races de *Phytophthora* qui se trouvent dans ce champ. Cependant, l'apparition éventuelle d'une race de champignons à laquelle le cultivar de soya est vulnérable pourrait affaiblir cette résistance. Si c'est le cas, il faut choisir un cultivar résistant à la nouvelle race ou faire appel à un cultivar tolérant ou à un gène de résistance différent. Les cultivars ayant des gènes de résistance différents devraient être cultivés en rotation. Pour déterminer les races qui sont présentes dans un champ, semer des bandes de plusieurs cultivars ayant une résistance connue à une race.

2. Cultivars tolérants. La maladie se développe chez ces cultivars lorsqu'ils sont cultivés dans des sols infectés, indépendamment des races de *Phytophthora* en cause. Toutefois, le rendement des cultivars tolérants ne souffre habituellement pas beaucoup de la présence de la maladie.

Toute façon culturale qui réduit le compactage du sol et son engorgement réduit aussi l'incidence de la

maladie. Pour les sols argileux où le *Phytophthora* constitue une menace, on recommande les mesures suivantes :

- choisir un cultivar montrant un faible pourcentage de plants infectés (voir le rapport sur les essais de cultivars de soya en Ontario (*Ontario Soybean Variety Report*));
- alterner avec des cultures de maïs et de blé. Une rotation courte fera accroître la population du pathogène et le nombre de races présentes dans le champ;
- ne pas travailler le sol quand il est mouillé;
- adopter de bonnes pratiques culturales afin d'améliorer la structure et le drainage du sol (rotation, fumier, cultures de couverture, travail réduit du sol, etc.);
- placer des drains dans les champs au drainage naturellement lent;
- travailler légèrement le sol pour contribuer à le réchauffer et à améliorer le drainage superficiel;
- semer lorsque la température est supérieure à 13 °C (55 °F);
- pour connaître les traitements des semences recommandés, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*;
- inspecter chacun des champs de soya à la fin de juillet ou au début d'août pour vérifier s'ils contiennent des plants morts et déterminer si le cultivar est suffisamment résistant ou tolérant compte tenu des conditions locales.

Rhizoctonie

Incidence : On trouve la rhizoctonie dans la plupart des régions de la province où l'on cultive le soya. Dans la majorité des champs, les pertes de peuplement vont de moins de 5 % à plus de 50 % dans la pire des situations. L'incidence de la rhizoctonie est en train de s'accroître et pourrait provoquer des pertes de rendement considérables. Elle touche principalement les plantules et les jeunes plants sous forme de pourriture des racines et de la tige, surtout durant des périodes pluvieuses prolongées.

Aspect : La rhizoctonie provoque la pourriture des semences et la brûlure des plantules (fonte des semis). Une lésion rougeâtre caractéristique apparaît sur la tige, au niveau de la ligne de sol ou juste en dessous (voir planche 65, p. 333). Ces lésions fermes et sèches d'un rouge brique peuvent former une ceinture enfoncée dans la tige, qui peuvent suivre la racine pivotante et littéralement couper les racines sur leur chemin. Les symptômes de cette maladie sont semblables à ceux causés par le pourridié phytophthoréen. Les plants affectés tournent au jaune pâle, symptôme qui est souvent confondu avec les symptômes d'une carence en azote ou d'une piètre nodulation. Les plants gravement infectés peuvent perdre leurs feuilles. Il arrive parfois que de petites touffes de plants flétrissent ou meurent. Souvent, les lésions ceinturant la tige affaiblissent les plants; en effet, ceux-ci cassent souvent au niveau du sol lors d'une tempête. Des conditions de croissance stressantes favorisent l'évolution de cette maladie. La rhizoctonie occasionne plus de dommages lorsque le temps frais et pluvieux du printemps est suivi d'un temps chaud et sec.

Cycle biologique : La rhizoctonie touche beaucoup de grandes cultures et de cultures horticoles. Elle survient dans tous les types de sol et sous toutes les conditions environnementales. Les pertes qui y sont dues sont plus considérables lorsqu'un printemps pluvieux est suivi de temps sec. Ce champignon habite principalement dans le sol et y survit en tant que mycélium dormant ou sclérote. Sous des conditions de température optimales (entre 25 et 29 °C (77–84 °F)), les champs qui en souffrent le plus sont ceux qui ont déjà été infectés. Avec le temps, les petites régions infectées finissent par s'étendre.

Stratégies de lutte : Peu d'options de lutte existent, car il n'y a aucun cultivar résistant et peu de cultivars tolérants à la rhizoctonie. La rotation des cultures avec du maïs et des céréales à paille peut aider à minimiser l'effet de la maladie. Il est recommandé de promouvoir le drainage du sol et d'éviter de semer lorsque le temps est frais et pluvieux. Les traitements fongicides des semences offrent une certaine protection et améliorent la levée. Pour connaître les traitements des semences, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Brûlure phomopsienne

Incidence : Le stade avancé de la brûlure phomopsienne, qui se manifeste par la pourriture des semences, constitue depuis longtemps la maladie du soya la plus importante en Ontario. Elle occasionne plus de problèmes lorsque les conditions sont chaudes et pluvieuses à la récolte. Sous de telles conditions, retarder la récolte accroît l'incidence de la maladie.

MALADIES

Aspect : En Ontario, la brûlure phomopsienne comporte deux phases. La première se manifeste sur les tiges et les gousses, la seconde, sur les semences. La deuxième phase se caractérise par de petites fentes près du hile des graines infectées (voir planche 66, p. 334). Une moisissure blanche comme de la craie ou grise peut apparaître à la surface de la graine. Le rendement, le grade, la viabilité et la vigueur de la semence s'en trouvent parfois réduits. En fait, comme les graines gravement atteintes demeurent petites et légères et risquent d'être perdues lors de la récolte et des opérations de nettoyage, la maladie entraîne des pertes de rendement. La première phase de la maladie touche les tiges et les gousses. Bien que les plants soient infectés en début de saison, les symptômes ne paraissent qu'après la mi-saison. Sur les tiges, on aperçoit de petits points ou corpuscules noirs surélevés (pycnides) (voir planche 67, p. 334); ces corpuscules sont alignés ou regroupés en îlots. Il y en a aussi sur les gousses, mais ils ne sont pas disposés de façon particulière.

Cycle biologique : Ce champignon hiverne dans les graines et les résidus de culture. En début de saison, les spores sont éclaboussées sur les plantules. Du temps chaud, pluvieux et humide durant le remplissage des gousses est propice à l'évolution de la maladie.

Stratégies de lutte : Dans la mesure du possible, il faut choisir des cultivars de pleine saison, qui parviendront par conséquent à maturité sous les conditions fraîches de la fin de la saison de croissance. Les cultivars à cycle court pour une région donnée tendent à parvenir à maturité plus tôt lorsque les conditions sont plus douces et plus propices à la prolifération du pathogène. On peut éliminer ou réduire l'incidence de la brûlure phomopsienne en adoptant une ou plusieurs des mesures suivantes : utilisation de semences saines, semis plus tardifs, rotation des cultures, enfouissement des résidus de soya et récolte au moment le plus opportun possible. Il est aussi recommandé de récolter en premier le soya destiné aux marchés d'exportation et des semences. Le traitement des semences entraîne habituellement une hausse de la germination et de la levée. Toutefois, il faut souligner que, souvent, les graines déformées laissant voir une contamination par le champignon ne parviennent pas à germer, même si elles sont traitées. Pour plus d'information sur les traitements de semences homologués, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Oïdium et mildiou

Incidence : L'oïdium et le mildiou sont présents dans toutes les régions de la province. Les temps pluvieux et humides favorisent leur évolution. Bien que la plupart des champs soient touchés par ces maladies, on considère qu'il s'agit de maladies mineures et négligeables sur le plan économique.

Aspect : L'oïdium se manifeste sous forme d'une couche poudreuse blanche à la face supérieure des feuilles (voir planche 68, p. 334). Les graines ne sont pas contaminées. Quant au mildiou, il se manifeste sous forme de taches foliaires, allant du jaune au brun et apparaissant de la fin de juillet à septembre (voir planche 69, p. 334). Par temps humide, une moisissure grise ou bleu clair apparaît au revers des feuilles, juste sous ces taches. Les feuilles gravement atteintes tombent prématurément. Un feutre mycélien blanchâtre peut finir par recouvrir entièrement les graines, même à l'intérieur de gousses saines. L'utilisation de semence infectée peut donner des plantules malades.

Cycle biologique : Habituellement, l'oïdium se manifeste en août et en septembre sur les feuilles. Ces maladies se déclarent lorsque les symptômes commencent à paraître au début de juillet et que le temps demeure frais, nuageux et humide jusqu'au remplissage des gousses. Le mildiou vit dans les feuilles infectées et sur les graines. Les spores aéroportées provenant des États-Unis et disséminées en Ontario sont les sources d'infection les plus courantes.

Stratégies de lutte : L'enlèvement des résidus de récolte et l'inclusion dans la rotation d'espèces qui ne sont pas hôtes, comme le maïs et le blé, contribuent à prévenir l'apparition de ces deux maladies. De plus, le traitement fongicide des semences permet de réduire l'incidence du mildiou transmis par les semences. Pour connaître les produits recommandés, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Moisissure blanche (*Sclerotinia*)

Incidence : La moisissure blanche est une maladie sporadique qui ne se manifeste que dans une certaine mesure en Ontario. Elle est plus dévastatrice lorsque le temps est frais et pluvieux pendant la floraison ou peu de temps avant la récolte.

Aspect : Les tiges et les gousses infectées par la moisissure blanche sont brun clair et semblent gorgées d'eau (voir planche 70, p. 334). Il arrive souvent que l'on puisse distinguer un feutre mycélien blanc d'aspect cotonneux et des points noirs (sclérotes) sur et dans la tige (voir planche 71, p. 335). En général, les plants meurent par plaques vers la fin de la saison de croissance. Les gousses infectées peuvent à leur tour infecter les graines, sur lesquelles se développe un feutre mycélien blanc d'aspect duveteux. Il ne faut donc pas utiliser de semences provenant de champs infectés.

Stratégies de lutte : Il faut éviter de cultiver dans les champs déjà infectés par la moisissure blanche des cultures de canola, de haricots comestibles, de sarrasin et de tournesol, et ce, pendant trois ou quatre ans. Lorsqu'on sème du blé par semis direct sur un retour de soya, les nouveaux sclérotes restent à la surface du sol. Seuls les sclérotes qui sont dans les 2,5 premiers centimètres de sol germent. Si aucun travail du sol n'est effectué pour les cultures suivantes, la plupart des sclérotes laissés en surface s'épuisent. Les sclérotes enfouis profondément dans le sol ne devraient pas causer de problèmes aux cultures de haricots ultérieures, à moins qu'ils ne soient ramenés à la surface par le travail du sol.

On a signalé que les cultivars montrent des différences au plan de leur vulnérabilité à la moisissure blanche causée par *Sclerotinia*. Bien qu'il ne semble exister aucun cultivar résistant, on a constaté sur le terrain que les cultivars précoces sont moins vulnérables à une épidémie que les cultivars tardifs. On a aussi remarqué que les cultivars moins prédisposés à la verse sont plus résistants à la moisissure blanche. Dans les champs de soya ayant déjà été fortement infectés par cette maladie, les producteurs devraient envisager de semer des cultivars qui nécessitent de 200 à 300 UTC de moins que ce qui est offert pour la région, et qui présentent une excellente résistance à la verse.

Nématode à kyste du soya

Incidence : Depuis qu'il a été identifié pour la première fois en 1988, le nématode à kyste du soya a été signalé dans neuf comtés de l'Ontario : Essex, Kent, Lambton, Elgin, Perth, Haldimand-Norfolk, Middlesex, Huron et Oxford. Malheureusement, le nématode à kyste du soya (NKS) continue de se propager dans des comtés non infestés. Bien que ce ravageur puisse être maîtrisé efficacement, il faut d'abord y être sensibilisé et savoir le reconnaître. En effet, tous les agriculteurs devraient faire le dépistage de ce nématode. En Ontario, les pertes dues au nématode à kyste du soya varient de 5 à 100 %. Malheureusement, quand les symptômes de la présence du NKS se manifestent sur les plants, les agriculteurs ont déjà subi des pertes de rendement de l'ordre de 25 à 30 %. Une fois les champs infestés, il est impossible d'éradiquer le NKS.

Aspect : Ces organismes microscopiques en forme d'anguillules endommagent le système racinaire du soya, ce qui empêche le plant d'absorber l'eau et les éléments nutritifs. Ils font jaunir les feuilles et rabougrir les plants, en particulier si le sol est de texture légère et la pluviosité faible (voir planche 72, p. 335). Les endroits endommagés forment des plages circulaires, allant de quelques mètres à plus de 50 mètres de diamètre. On confond souvent les dégâts occasionnés par le NKS à ceux causés par une carence nutritionnelle, une inondation, des herbicides, le compactage ou la pourriture des racines. Le jaunissement du pourtour des feuilles peut ressembler aux symptômes d'une carence en potassium; toutefois, l'ajout de potassium ne réduit pas les dommages dus au NKS et n'élimine pas les symptômes. Un peuplement mal établi peut être le résultat d'une infestation par le NKS; ce phénomène est souvent confondu avec des maladies touchant les plantules. Il ne faut jamais tenter d'arracher un plant pour voir le NKS, car on risque de perdre trop de racines et, de toute manière, les nématodes glissent des racines au moment de l'arrachage. On recommande plutôt d'utiliser une pelle pour dégager le plant avec la terre qui entoure les racines.

Le système racinaire des plants infestés peut être foncé en raison d'une pourriture secondaire des racines et porter moins de nodosités. Des kystes dont la couleur va du blanc au brun jaunâtre et qui font moins de 1 mm de diamètre (tête d'épingle) sont aussi visibles sur les racines (voir planche 73, p. 335). Les symptômes des dommages occasionnés par le NKS (y compris la mort des plants) sont plus manifestes dans des conditions de croissance stressantes, surtout quand il fait chaud et sec. Si les conditions de croissance sont bonnes, il se peut que les symptômes visuels passent inaperçus, contrairement à ce qui se produit les années où les conditions sont particulièrement stressantes. En fait, dans ce type de conditions, une faible population de NKS peut causer des dommages visuels beaucoup plus importants, entraînant par le fait même de plus grandes pertes. Le soya a moins tendance à compenser pour les dommages causés par l'alimentation du NKS lors de conditions stressantes que lors de conditions de croissance favo-

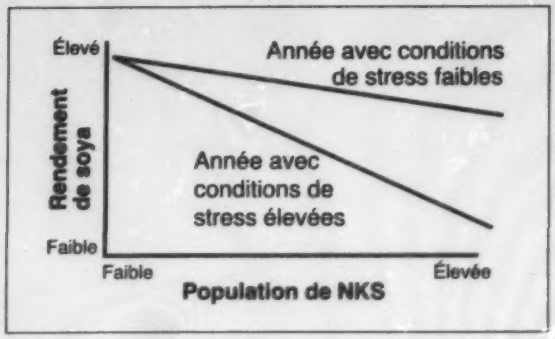


Figure 4–6.
Effet sur le rendement du soya de populations importantes et faibles de NKS dans des conditions de stress élevées et faibles

rables (voir la figure 4–6, *Effet sur le rendement du soya de populations importantes et faibles de NKS dans des conditions de stress élevées et faibles*), ci-dessus.

Les symptômes découlant de l'infestation par le NKS ne sont pas toujours manifestes, et on a observé des pertes de rendement de 25 à 30 % dans des champs sensibles sans qu'il y ait de symptômes visuels (au-dessus du sol). Parmi les endroits des champs où les symptômes visuels se manifestent le plus souvent, on doit mentionner les points d'entrée de la machinerie, les aires d'entreposage du matériel et des véhicules, le faîte des collines, les tournières compactées et le long des rangs d'arbres et d'arbustes où la terre emportée par le vent a tendance à s'accumuler.

Cycle biologique : Le cycle biologique du nématode à kyste du soya se compose de trois stades principaux : l'œuf, le stade juvénile et le stade adulte. Lors du premier stade, les œufs éclosent, libérant de jeunes anguillules dans le sol. C'est le seul stade où le NKS peut infecter les racines du soya, car celui-ci produit alors une substance qui attire les larves à ses racines. Une fois qu'ils ont pénétré les racines, les jeunes nématodes migrent vers les tissus conducteurs d'eau et d'éléments nutritifs (système vasculaire) et établissent un site d'alimentation (syncytium). Les syncytiums se forment lorsque les jeunes nématodes femelles injectent des sécrétions dans les cellules des racines, les modifiant et les transformant en cellules d'alimentation spécialisées. C'est à ce stade que les femelles commencent à gonfler et finissent par percer la surface des racines. Les femelles adultes qui continuent de s'accrocher à la racine pour se nourrir pondent leurs œufs en masse dans une gangue gélatineuse. À la fin du cycle, les femelles retiennent des œufs dans leur abdomen. Leur corps, enchâssé dans les racines, forment des « kystes ». Au début, les kystes sont blancs; ils deviennent ensuite jaunes, puis bruns, à mesure que les femelles viennent à maturité.

Tableau 4–21.
Hôtes du nématode à kyste du soya (NKS)

Hôtes favorisant une forte reproduction du NKS	Cultures ne servant pas d'hôte ou ne servant que peu à la reproduction du NKS
Soya	Maïs
Haricots secs	Blé
Haricots rognons	Avoine
Haricots mungo	Trèfle
Haricots adzuki	Luzerne
Haricots verts	Lotier corniculé

Les kystes peuvent contenir entre 100 et 300 œufs. Le nombre de kystes par plant varie de quelques-uns à des centaines. Dans un champ infesté, les kystes sont répartis dans toute la rhizosphère.

Stratégies de lutte : Les pratiques suivantes réduisent le risque d'infestation par le NKS, responsable de pertes financières importantes :

1. Utiliser des semences certifiées ou propres, de bonne qualité et exemptes de ravageurs terricoles.
2. Enlever à grande eau toute terre collée aux machines agricoles avant de passer d'un champ ou d'un terrain infesté à l'autre.
3. Adopter des pratiques de conservation adéquates pour empêcher le transfert de terre entre les champs.
4. Être rigoureux dans la lutte contre les mauvaises herbes. De nombreuses mauvaises herbes servent d'hôtes aux NKS.

Si on a diagnostiqué le NKS dans un champ, pratiquer une rotation incluant des cultivars résistant au NKS et des cultures non-hôtes de ce ravageur, telles que le maïs, le blé, la luzerne et le trèfle, ou des cultures de légumes, comme la tomate. Cela permet de réduire les populations de NKS et d'améliorer le rendement des champs infestés. Il est déconseillé de remplacer dans la rotation le soya par des haricots comestibles (blancs, colorés) ou par des pois, étant donné que ces cultures sont également hôtes du NKS. Voir le tableau 4–21, *Hôtes du nématode à kyste du soya (NKS)*, ci-dessus, le tableau 4–22, *Risque de perte de rendement associé à différents niveaux de population de NKS*, p. 151, et la figure 4–7, *Rotation des cultures visant à maîtriser le NKS dans les champs infestés par la race 3 ou une combinaison des races 1 et 3*, p. 152.

Il est important de surveiller les populations de NKS dans le sol en prélevant des échantillons tous les deux ou trois ans. Demander à la fois un compte des œufs et un compte de tous les kystes. Envoyer les

Tableau 4–22.
Risque de perte de rendement associé à différents niveaux de population de NKS

Population de NKS (nbre d'œufs/100 g de sol)	Risque	Perte de rendement possible	Rotation
0–500 (sols grossiers et sableux)	Faible	0–20 %	4 ans
0–1 000 (sols fins limoneux ou argileux)	Faible	0–20 %	4 ans
1 000 (sols grossiers et sableux)	Élevé	20–50 %	6 ans
2 000 (sols fins limoneux ou argileux)	Élevé	20–50 %	6 ans
10 000 (tous les types de sols)	Les cultivars résistants risquent d'être endommagés	50–100 %	Non-hôte

Source : Welacky, Anderson et Tenuta. Agriculture et Agroalimentaire Canada et MAAARO, 2000.

échantillons pour analyse à l'un des laboratoires indiqués dans l'annexe G, *Laboratoires de dépistage du nématode à kyste du soya*, p. 309.

L'utilisation continue de cultivars résistant au NKS pousse la population de nématodes à s'adapter et à se déplacer, rendant ainsi ces cultivars inefficaces. Voir le rapport sur les essais de cultivars de soya en Ontario (*Ontario Soybean Variety Trials*) pour découvrir les cultivars résistants et leur comportement dans les sols infestés.

Pourriture brune, chancre de la tige et syndrome de la mort subite

Incidence : On trouve ces trois maladies dans toutes les régions de l'Ontario où l'on cultive le soya, mais elles sont plus répandues dans les comtés du sud-ouest. Elles se manifestent de plus en plus en raison, tout probablement, de l'évolution des pratiques culturales. Les pertes de rendement varient de quelques boisseaux à de grandes étendues de champs (surtout dans le cas du syndrome de la mort subite).

Aspect : Pour savoir comment dépister adéquatement ces maladies, voir le tableau 4–23, *Symptômes de la pourriture brune, du chancre de la tige et du syndrome de la mort subite sur les racines, les tiges et les feuilles du soya*, p. 153.

Pourriture brune : Les symptômes de la maladie se manifestent généralement en août, au moment du remplissage des gousses. Des zones jaunâtres et nécrotiques se développent entre les nervures des feuilles supérieures, comme dans le cas du syndrome de la mort subite. Les plants se flétrissent soudainement et les gousses sont mal remplies. La maladie est plus répandue là où l'on pratique un travail réduit du sol.

Chancre de la tige : La maladie peut causer la fonte et la flétrissure des semis, mais elle s'attaque plus souvent aux plants de soya après la floraison. Les plants se flétrissent soudainement et les feuilles et pétioles s'affaissent, comme dans les cas du pourridié phytophthoréen. Des lésions rouge brunâtre apparaissent à l'extérieur des plants atteints, aux nœuds inférieurs (voir planche 75, p. 335). En général, la moelle des plants malades brunit près des nœuds. Ce champignon peut aussi provoquer le dépérissement de la tige ou des pointes plus tard dans la saison de croissance, et aussi causer une pourriture des graines semblable à la pourriture des semences causée par la brûlure phomopsienne. Le chancre de la tige hiverne dans les résidus de culture et est plus répandu là où l'on pratique un travail réduit du sol.

Syndrome de la mort subite (SMS) : Les plants atteints flétrissent et meurent très rapidement en juillet et en août. On peut observer une chlorose internervaire et une nécrose des feuilles supérieures (voir planche 74, p. 335), ainsi qu'une défoliation. En général, les pétioles ne tombent pas. Les sols mouillés et les températures chaudes sont propices au développement de la maladie. Les plants atteints ont une légère décoloration brune de la couronne. La maladie est souvent associée au nématode à kyste du soya, mais pas toujours.

Cycle biologique : Tous ces champignons survivent pendant de longues périodes dans les résidus de culture enfouis dans le sol. La pourriture brune sévit au début de la saison de croissance, mais ses symptômes ne se manifestent qu'un mois avant la récolte. Les conditions présentes durant le remplissage des gousses affectent le développement de la maladie. En fait, la maladie se développe lorsque, à ce stade, du temps frais et pluvieux est suivi

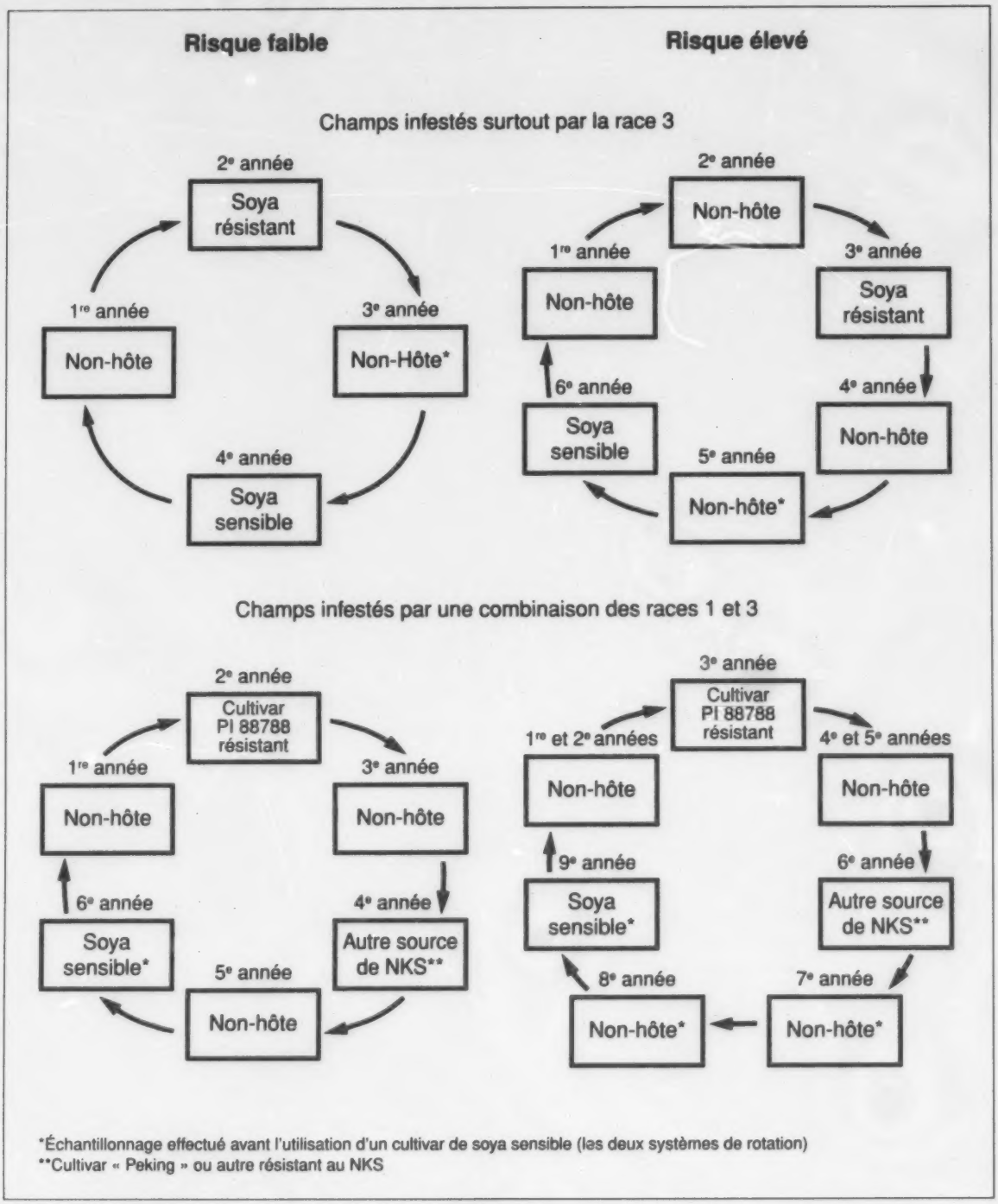


Figure 4–7.
Rotation des cultures visant à maîtriser le NKS dans les champs infestés par la race 3 ou une combinaison des races 1 et 3

Avertissement : Le NKS occasionne des pertes de rendement considérables. Par conséquent, pour les champs ayant déjà été infestés par ce ravageur, il faut choisir un cultivar qui y est résistant. Cela revêt une importance particulière dans le cas des nouvelles technologies ou caractéristiques, telles que la résistance aux herbicides. Par exemple, lors de l'utilisation d'un cultivar résistant aux herbicides, on peut minimiser les pertes dues au NKS en choisissant un cultivar qui est également résistant au NKS.

Tableau 4–23.
Symptômes de la pourriture brune, du chancre de la tige et du syndrome de la mort subite sur les racines, les tiges et les feuilles du soya

Organe du plant	Pourriture brune	Chancre de la tige	Syndrome de la mort subite
Racines	• saines	• saines	• pourriture des racines • brunissement des racines • brunissement intérieur de la racine pivotante
Tige (extérieur)	• saine	• chancre brun rougeâtre, foncé, déprimé, commençant à un nœud • chancre pouvant s'étendre à la longueur de la tige • souvent d'un seul côté	• saine
Tige (intérieur)	• moelle brune (centre) • tissus blancs sous la surface de la tige	• commençant avec un léger brunissement aux nœuds • tiges gravement atteintes complètement détériorées	• moelle blanche et saine • brunissement des tissus sous la surface de la tige
Feuilles	• flétrissure des feuilles supérieures • taches jaunes entre les nervures • augmentation de la taille jusqu'à ce que les tissus entre les nervures soient entièrement jaunis, puis brunis • feuilles restant attachées au plant	• jaunissement général des feuilles • absence de points ou de taches jaunes distincts • jaunissement entre les nervures pouvant entraîner la nécrose ou la mort des tissus	• flétrissure des feuilles supérieures • taches jaunes entre les nervures • augmentation de la taille jusqu'à ce que les tissus entre les nervures soient entièrement jaunis, puis brunis • feuilles restant attachées au plant

de temps chaud et sec. Le chancre de la tige préfère un temps moyennement chaud et pluvieux; il se manifeste entre la mi-juillet et la maturité. Les plants infectés par le syndrome de la mort subite, eux, commencent à présenter des symptômes entre la floraison et la maturité; la maladie prospère dans des sols frais et humides. Les champs les plus susceptibles d'afficher les symptômes du syndrome de la mort subite sont ceux qui sont bien fertilisés et vigoureux.

Stratégies de lutte : Une rotation incluant du maïs et des céréales à paille atténue l'incidence de ces maladies, qui sévissent le plus souvent dans des champs qui ont fait l'objet d'un travail réduit du sol. L'incorporation ou l'enlèvement des résidus infestés réduit également les risques d'infection par ces maladies. Pour connaître les cultivars qui y sont résistants ou tolérants, communiquer avec un fournisseur de semences.

Mosaïque du soya

Incidence : La plupart des régions de la province sont légèrement touchées par cette maladie. Les champs de soyas de spécialité ou de consommation humaine qui doivent donner des graines avec un tégument sans tache sont les plus vulnérables aux pertes économiques dues au virus de la mosaïque du soya.

Aspect : Les feuilles des plants infestés sont déformées, ridées et cloquées, et elles ont des taches formant une sorte de mosaïque qui est davantage évidente sur les jeunes feuilles (voir planche 76, p. 335). Les plants infectés peuvent également être rabougris. Les graines infectées présentent un brunissement ou un noircissement caractéristique qui produit des bigarrures depuis le hile (voir planche 77, p. 336). On confond souvent les symptômes du virus avec les dommages causés par les herbicides hormonaux. Normalement, les plants infectés par le virus de la mosaïque du soya sont répartis ça et là dans le champ, et la zone touchée est habituellement plus petite que s'il s'agissait de dommages causés par un herbicide. De plus, les dommages ne semblent pas se présenter sous une forme précise.

Cycle biologique : Le virus survit d'une saison à l'autre dans les graines infectées et se transmet d'un plant à l'autre par les pucerons.

Stratégies de lutte : En Ontario, semer des graines saines permet de contrôler cette maladie.

Marbrure des gousses du haricot

Incidence : Causant d'importantes pertes économiques dans le Midwest des États-Unis, le virus responsable de la marbrure des gousses du haricot a récemment été détecté en Ontario. Ce virus peut nuire à la qualité du soya et, par conséquent, aux possibilités d'exportation.

Aspect : L'un des symptômes communs de ce virus est la maturité irrégulière du soya ou symptôme de la « tige verte »; les tiges et les feuilles demeurent vertes même si les gousses sont mûres. De plus, les jeunes feuilles du couvert supérieur ont souvent des marbrures qui tournent du vert au jaune et qui peuvent disparaître, puis réapparaître plus tard dans la saison de croissance. Dans les cas extrêmes, les feuilles et les gousses peuvent être déformées. De plus, la turgescence des feuilles infectées diminue, ce qui les fait s'enrouler. Souvent, par temps chaud ou de sécheresse, les plants infectés comptent moins de gousses. Le tégument infecté, lui, présente des bigarrures brunes ou noires depuis le hile.

Cycle biologique : Le temps frais est propice à l'évolution de cette maladie. Contrairement au virus de la mosaïque du soya, le virus responsable de la marbrure des gousses du haricot ne se transmet pas facilement par la semence. En effet, la chrysomèle du haricot et éventuellement la chrysomèle maculée du concombre en sont les principaux vecteurs. Ce virus a un grand nombre d'hôtes parmi les légumineuses et il se transmet par l'intermédiaire des chrysomèles du haricot qui se nourrissent de plants de légumineuses infectés. Le virus peut se propager par les dommages mécaniques, surtout par temps pluvieux.

Stratégies de lutte : Dans les champs ayant déjà été infectés par ce virus, utiliser des semences saines ou des cultivars résistants. Envisager de lutter contre les chrysomèles du haricot adultes lorsque les populations sont fortes en début de saison. Pour connaître les seuils d'intervention relatifs à la chrysomèle du haricot, voir la rubrique *Chrysomèle du haricot*, p. 143.

Autres problèmes liés aux cultures

Dommages causés par la gelée et la grêle

Début de saison

Les plants endommagés sous les cotylédons par la gelée ou la grêle en début de saison ne s'en remettent pas. Si la gelée ou la grêle endommage le point végétatif sans toutefois toucher la tige, située plus bas, la plante produit de nouvelles pousses à partir de la base des feuilles ou des cotylédons (voir planche 78, p. 336). Il faut de trois à quatre jours aux nouvelles pousses pour sortir du point d'attache des feuilles à la tige (aisselles). Des essais de recherches indiquent que la perte de feuilles en début de croissance a peu d'incidence sur le rendement final ou la maturité. Le tableau 4–24, *Pourcentage de perte de rendement des cultivars de soya indéterminés selon différents niveaux de pertes de feuilles et stades de croissance*, p. 155, résume les pertes de rendement prévues pour différents niveaux de pertes de feuilles et stades de croissance.

Dommages à la tige

Les tiges brisées ou coupées ont plus d'incidence sur le rendement et la maturité que la perte de feuilles. Si moins de 50 % des tiges sont perdues avant la floraison, la perte de rendement est inférieure à 10 %. Dans l'évaluation des dommages causés par la grêle, il faut vérifier si la tige du plant est meurtrie. Si la tige est gravement endommagée, il est plus difficile pour le plant de s'en remettre (voir planche 79, p. 336) et celui-ci peut devenir plus sensible aux maladies. Les meurtrissures, qui n'entraînent pas la cassure de la tige, ont peu d'incidence sur le rendement.

En ce qui a trait à la réduction du rendement, les champs de soya sont vulnérables lors de la floraison et du remplissage des gousses. Cela est particulièrement vrai si la tige est cassée, ce qui résulte en une diminution du nombre de gousses. Des retards dans la maturité et la croissance des graines peuvent aussi survenir.

Dommages causés par des températures froides et la gelée en fin de saison

On considère le soya comme une culture de saison chaude et, par conséquent, davantage sensible aux températures froides, spécialement durant la floraison. En effet, on croit qu'une période froide prolongée (moins de 13 °C ou 55 °F) durant la floraison nuit à la formation du pollen. Il en résulte des gousses mal développées appelées « gousses parthénocarpiques ». Certains cultivars n'ont pas la même tolérance au temps froid que d'autres, comme on a pu le constater en 1992.

Les cultivars qui ont des poils brun jaunâtre sont davantage tolérants au froid que ceux qui ont des poils gris.

Tableau 4–24.
Pourcentage de perte de rendement des cultivars de soya indéterminés selon différents niveaux de pertes de feuilles et stades de croissance

	Pourcentage de feuilles détruites									
Stade de croissance	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**
Vc-Vn	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
R1	–	1	2	3	3	4	5	6	8	12
R2	–	2	3	5	6	7	9	12	16	23
R2,5	1	2	3	5	7	9	11	15	20	28
R3	2	3	4	6	8	11	14	18	24	33
R3,5	3	4	5	7	10	13	18	24	31	45
R4	3	5	7	9	12	16	22	30	39	56
R4,5	4	6	9	11	15	20	27	37	49	65
R5	4	7	10	13	17	23	31	43	58	75
R5,5	4	7	10	13	17	23	31	43	58	75
R6	1	6	9	11	14	18	23	31	41	53
R6,5	4	7	10	13	17	23	31	43	58	75

Source : National Crop Insurance Services Inc., 1997.

La gelée qui sévit durant la floraison et le remplissage des gousses peut réduire considérablement le rendement et la qualité des récoltes (voir le tableau 4–25, *Dommages au soya dus à la gelée*, ci-contre). En effet, si elle survient lors du remplissage des gousses, les graines sont fortement endommagées : elles sont de couleur verdâtre et ont l'air confit. Même les graines moyennement gelées de couleur verdâtre et dont le tégument est légèrement ridé sont considérées comme endommagées. Elles peuvent être rejetées s'il y en a en trop grande quantité, car elles finissent par sécher avec un tégument ridé. Bien que les plants endommagés par la gelée puissent venir à maturité plus tôt, leur teneur en eau est identique à celui des plants non touchés. La germination se trouve elle aussi gravement réduite. L'Agence canadienne d'inspection des aliments entend par soya endommagé par la gelée « les plants dont les cotylédons, une fois coupés, sont de couleur verte ou brun verdâtre et d'une apparence vitreuse et cireuse » (traduction libre).

Dommages causés par les herbicides

Tous les herbicides risquent d'endommager les récoltes. En fait, certains herbicides radiculaires (présemis et prélevée) peuvent être éclaboussés sur les feuilles ou être absorbés par les racines. Quant aux herbicides de postlevée, la plupart des dommages surviennent au moment de l'application ou peu après. La dérive du brouillard herbicide peut également endommager les cultures avoisinantes sensibles à l'herbicide épandu. Les dommages dus aux herbicides sont parfois causés par le chevauchement des surfaces pulvérisées.

Tableau 4–25.
Dommages au soya dus à la gelée

Stade de croissance		Réduction du rendement
R4	Remplissage des gousses	70–80 %
R5	Premières graines	50–70 %
R6	Grossissement des graines	15–30 %
R7	Début de la maturité	0–5 %
R8	Maturité	0 %

Source : Saliba *et coll.*, Kansas State University, 1982.

L'ampleur et la gravité des dommages aux cultures dépendent à la fois du stade de croissance, du stress, des conditions météorologiques, des cultivars, du mélange en cuve et des adjuvants. En fait, quand la culture cible subit un stress, elle peut parfois ne pas métaboliser l'herbicide assez rapidement pour éviter d'être endommagée. Le type d'herbicides (mode d'action) est lui aussi l'un des facteurs déterminants dans la gravité des dommages. En général, bien que les dommages provoqués par les herbicides de contact paraissent plus graves, les herbicides systémiques causent des dommages à long terme qui peuvent être plus importants. Il faut toujours lire l'étiquette pour connaître les façons de réduire les risques de dommages.

Voir aussi la fiche technique du MAARO, *Classes de modes d'action des herbicides*, commande n° 00-062, disponible sur le site Web du MAARO à www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/index.html.

Types particuliers de dommages par les herbicides

Pour connaître les appellations commerciales des herbicides, consulter la fiche technique du MAARO, *Classes de modes d'action des herbicides*, commande n° 00-062, ou la publication 75F du MAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Triazines
(p. ex. atrazine, métribuzine, simazine et autres produits contenant ces herbicides)

La planche 80, p. 336, montre les dommages aux feuilles inférieures causés par les triazines. Les feuilles présentent des symptômes de chlorose internervaire et de jaunissement du pourtour et des extrémités, suivi de brunissement. Les feuilles inférieures sont les

plus touchées. La croissance des racines peut aussi être ralentie. Les dommages dus à la triazine résultent habituellement du dépôt dans le sol de résidus venant d'applications d'herbicides des années précédentes et contenant de l'atrazine.

La métribuzine peut endommager le soya lorsqu'elle est absorbée par les racines ou, le plus souvent, lorsqu'elle est éclaboussée sur les feuilles (voir planche 81, p. 336). La croissance des racines peut être ralentie. Une pluie abondante peut faire éclabousser sur les feuilles l'herbicide se trouvant au sol. Les champs dont le pH du sol est élevé ou contenant peu de matières organiques sont plus susceptibles aux dommages. Dans certains cas, les feuilles les plus vieilles peuvent mourir et tomber, tandis que les feuilles nouvelles restent indemnes. L'incidence sur le rendement est minime, à moins que les plants meurent. Certains cultivars sont sensibles à la métribuzine.

Herbicides chloroacétamides (p. ex. diméthénamide, flufenacet, s-métolachlore)

La planche 82, p. 336, montre des dommages causés par le chloroacétamide. Le cloquage des feuilles et l'écourtement des nervures médianes comptent parmi les symptômes. Parfois, les feuilles semblent avoir la forme d'un cœur.

Herbicides auxiniques (p. ex. dicamba et autres produits contenant ces herbicides ou des herbicides semblables)

Les herbicides auxiniques (hormonaux) tels que le dicamba peuvent dériver sur le soya et entraîner la déformation des feuilles et des tiges. En effet, les feuilles peuvent prendre la forme d'une cuillère, être tordues, avoir des nervures parallèles ou être rubanées (voir planche 83, p. 337). La dérive de faibles quantités d'herbicides sur le soya avant la floraison peut entraîner des dommages visuels considérables, mais, dans de nombreux cas, elle n'a aucune incidence majeure sur le rendement. Les dommages occasionnés par la dérive du brouillard herbicide peuvent venir d'autres champs ou de réservoirs contaminés qui n'ont pas été nettoyés adéquatement.

Herbicides à base d'éther de diphényle (PPO) (p. ex. aciflurofène, fomésafène)

Ce type d'herbicides brûle les feuilles au contact, sauf les feuilles nouvelles, qui restent indemnes (voir planche 84, p. 337). En effet, les nouvelles feuilles, qui ne sont pas complètement ouvertes au moment de l'épandage, ont l'air tordu ou crispé sans avoir de taches nécrotiques. Les symptômes peuvent surgir quelques heures à peine après l'application. Le couvert reverdit à mesure que les nouvelles feuilles sortent.

Bentazone

La planche 85, p. 337, montre les dommages au soya causés par le bentazone. Les feuilles peuvent être jaunies, bronzées, tachetées ou brûlées. Le bromoxynil est un herbicide dont le mode d'action est identique à celui utilisé pour le maïs. Les surfactants accroissent les dommages.

Inhibiteurs de l'acétolactate-synthase (ALS, groupe 2)

La planche 86, p. 337, montre les dommages dus à l'ALS : les nervures rougissent sur le revers des feuilles de soya. Certains herbicides ALS peuvent occasionner le jaunissement du pourtour des feuilles, la crispation des feuilles, le jaunissement de la tige près du point végétatif, ainsi que le rabougrissement du plant et même la mort du point végétatif.

5. Cultures fourragères

Les cultures fourragères constituent une production importante en Ontario; elles sont cultivées sur plus du tiers des terres cultivées. Le foin et les fourrages destinés à l'ensilage préfané sont cultivés sur 1 012 000 ha (2 500 000 ac), soit 364 000 ha (900 000 ac) de pâturages ensemencés et 648 000 ha (1 600 000 ac) de pâturages naturels. Environ 121 000 ha (300 000 ac) sont consacrés à la production de maïs d'ensilage, ce qui représente 14 % de la culture de maïs. La production des fourrages est évaluée à environ 800 millions de dollars, soit environ 10 % de la production agricole de la province.

Les fourrages sont, par définition, des plantes entières utilisées pour nourrir le bétail. Ils représentent un élément important de la rotation des cultures sur de nombreuses fermes, et nombre de recherches ainsi que l'expérience des agriculteurs en ont prouvé les avantages.

La gestion de ces cultures est plus complexe que celle de nombreuses autres cultures, et cela pour plusieurs raisons :

- Elles sont généralement formées d'un mélange de différentes espèces.
- On peut les utiliser sous forme de fourrages entreposés ou de pâturage.
- Elles se prêtent à divers systèmes de récolte et d'entreposage.
- Il s'agit de cultures vivaces, exigeant des dispositions spéciales pour l'hiver.

Pour plus de renseignements sur la production de l'ensilage de maïs, voir la rubrique *Choix des hybrides destinés à l'ensilage*, p. 65. La rubrique *Ensilage préfané et ensilage de maïs*, p. 183, contient de l'information sur l'ensilage du maïs et son entreposage. Pour des renseignements détaillés sur les pâturages, consulter la publication 19F du MAAARO, *La culture des pâturages*.

Espèces

Légumineuses vivaces

La plupart des légumineuses cultivées pour le fourrage ont des racines pivotantes ainsi que de larges feuilles composées (comportant un certain nombre de folioles) disposées en alternance sur la tige. Les nouvelles pousses naissent sur le collet de la plante, et le point végétatif de chacune des pousses se trouve à leur extrémité. Dans l'ensemble, les légumineuses ont une teneur en protéines plus élevée que les graminées.

Lorsqu'elles sont bien inoculées, les légumineuses peuvent utiliser l'azote atmosphérique; il n'est donc pas nécessaire d'appliquer d'azote commercial. Elles fournissent en outre une quantité considérable de ce gaz aux graminées du mélange.

Luzerne

En Ontario, la luzerne est la culture fourragère vivace qui donne le meilleur rendement et la légumineuse fourragère la plus cultivée. Elle produit plus de protéines par unité de surface que les autres légumineuses fourragères et peut être cultivée seule ou avec des graminées. Pour une longévité et un rendement optimaux, la luzerne demande un sol bien drainé, un pH supérieur à 6,1, un niveau de fertilisation adéquat et une saine gestion de la récolte. Bien géré, un champ de luzerne peut normalement produire pendant trois ans ou plus. Les niveaux de protéines et d'énergie des fourrages à base de luzerne varient en fonction du stade de croissance atteint au moment de la récolte. On doit la récolter à une période précise à l'automne pour éviter sa destruction par l'hiver.

Lotier corniculé

Le lotier corniculé est une légumineuse non météorisante idéale pour les pâturages permanents. Il pousse bien sur un terrain pierreux ou en pente non consacré à la culture, car cette plante se reseme. Bien que les plants individuels ne vivent que quelques années, les peuplements peuvent demeurer productifs pendant dix ans ou plus si on les laisse monter en graine. Il s'adapte bien en outre à un sol peu drainé. Le lotier corniculé a un potentiel de rendement inférieur à celui de la luzerne et prend plus de temps à sécher. C'est pourquoi on le recommande pour la production du foin uniquement dans les zones où la culture de la luzerne est difficile. Comme les semis mettent beaucoup de temps à s'établir, il faudra normalement attendre au moins un an avant d'avoir un peuplement

satisfaisant. Comme la luzerne, le lotier corniculé doit également être récolté à une période précise à l'automne; celle-ci commence environ dix jours avant celle de la luzerne cultivée au même endroit.

Trèfle rouge

Le trèfle rouge est une légumineuse vivace de courte durée. Les rendements sont bons dans l'année qui suit l'établissement, mais souvent médiocres l'année suivante, en particulier dans le sud de l'Ontario. Il peut être cultivé dans les champs trop humides ou trop acides pour la luzerne. Cultivé avec d'autres légumineuses, il peut inhiber leur établissement. Lorsqu'on veut l'utiliser comme culture fourragère, on l'entrepose le plus souvent sous forme d'ensilage, car il est difficile à sécher, le trèfle rouge ayant tendance à faire de la poussière et à présenter des moisissures sous forme de foin sec.

En Ontario, on en cultive surtout deux types : le trèfle rouge à deux coupes et le trèfle rouge à une coupe. Le premier fleurit dans l'année d'établissement et donne une repousse vigoureuse. Le second pousse plus lentement et vient à maturité environ deux semaines après le premier; il ne fleurit pas dans l'année d'établissement ni après la première coupe les années suivantes.

Nombre d'agriculteurs utilisent maintenant le trèfle rouge comme engrais vert. Pour en savoir davantage sur l'utilisation du trèfle rouge comme culture-abri, voir la rubrique *Trèfle rouge*, p. 27.

Trèfle blanc

Le trèfle blanc est utilisé surtout dans les pâturages. Cette vivace de courte durée se resème. On en cultive surtout trois types : le trèfle ladino, le trèfle rampant et le trèfle blanc sauvage. Ils se ressemblent tous, mais diffèrent par leur taille : le trèfle blanc sauvage est le plus petit et le trèfle ladino, le plus gros. Ils ont tous des stolons, c'est-à-dire des tiges qui rampent sur le sol et dont les ramifications poussent bien droites ou un peu de côté. Les racines, profondes et fasciculées, se développent à partir des nodosités sur les stolons rampants. Le trèfle blanc est peu résistant à la sécheresse, mais tolère relativement bien les broutages fréquents et a une bonne sapidité. On peut l'ensemencer sur sol gelé ou en semis direct dans des pâturages de graminées existants pour améliorer la qualité du fourrage et son rendement.

Mélilot

Le mélilot est une légumineuse bisannuelle à croissance lente souvent utilisée pour alléger le sol. Il ne fleurit pas pendant l'année d'établissement. Au printemps de la deuxième année, il croît rapidement et devient une plante allongée à tige grossière. Comme il contient de la coumarine, le bétail l'apprécie moins.

Il en existe deux types : le mélilot blanc (fleurs blanches) et le mélilot officinal (fleurs jaunes). Doté d'une tige plus longue et plus grossière que le mélilot officinal, ainsi que de racines plus profondes, le mélilot blanc se prête mieux à l'engrais vert qu'au fourrage. Le mélilot officinal est meilleur au goût pour le bétail et attire davantage les abeilles. **Un foin à base de mélilot qui est moisi peut contenir du dicoumarol, un anticoagulant pouvant causer la mort des animaux.**

Trèfle d'Alsike

Le trèfle d'Alsike est une plante vivace, souvent traitée comme une plante bisannuelle. Il peut pousser sur des sols acides et peu drainés. Il ne donne qu'une coupe de foin par année; les agriculteurs s'intéressent en général peu à cette légumineuse de fourrage. **Comme il peut causer la photosensibilité et des dommages au foie chez les chevaux, il ne faut pas l'inclure dans le foin ni l'utiliser dans les mélanges de pâturage qui leur sont destinés.**

Trèfle kura

Le trèfle kura est une légumineuse de pâturage relativement nouvelle en Ontario. Il a peu de vigueur au départ et prend du temps à s'établir. Une fois que cela est fait, toutefois, il est très tenace, résistant au froid et peut tolérer un niveau de drainage, de fertilisation, de pH et une gestion des pâturages inférieurs à ce qui est souhaitable. Il se multiplie par ses tiges souterraines appelées rhizomes, possède un vaste système racinaire et devient dense avec le temps. La préparation du lit de semence et les méthodes d'ensemencement sont importantes. Le trèfle kura doit être inoculé avec la bonne souche de bactéries *Rhizobium*.

Graminées vivaces

Les graminées ont de longues feuilles minces qui prennent naissance sur la tige. Elles ont des racines très fasciculées qui contribuent à retenir le sol et ainsi à réduire l'érosion. Certaines variétés ont des rhizomes ou des racines souterraines qui produisent de nouvelles pousses à partir de chaque nodosité. Les graminées à rhizomes peuvent rendre un peuplement plus dense. Les graminées sans rhizome sont appelées « graminées en touffe ».

Les graminées font plus ou moins concurrence aux légumineuses, selon les variétés. Cela influe donc sur le ratio légumineuse-graminée d'une culture établie. Le dactyle et le ray-grass font souvent plus concurrence à la luzerne que la fléole ou le brome. Les graminées sont moins riches en protéines que les légumineuses lorsqu'on les récolte au même stade de croissance.

Fléole

La fléole est la graminée de fourrage la plus cultivée en Ontario; elle est généralement cultivée en association avec la luzerne ou le lotier corniculé. Elle fait partie des graminées en touffe et a peu de disposition au tallage; elle ne fait donc pas une concurrence féroce aux autres espèces. Elle s'implante facilement au début du printemps ou à la fin de l'été et s'adapte bien aux sols lourds et à drainage variable. La fléole est appétible et a un haut rendement à la première coupe. La repousse suivant la première coupe n'est pas aussi forte et la production à mi-saison n'est pas aussi bonne que celle du brome ou du dactyle pelotonné.

Brome inerme

Le brome inerme est une graminée plus hâtive et plus agressive que la fléole. Comme elle résiste mieux à la sécheresse, la repousse est plus forte à la deuxième coupe. Elle se multiplie par ses rhizomes et le peuplement peut devenir dense avec le temps. Le brome inerme est appétible et conserve mieux sa qualité à maturité que la plupart des graminées. Ses grosses graines très légères sont un inconvénient majeur, car elles passent mal dans les petits trous des semoirs. Le brome inerme s'implante difficilement s'il est semé en surface ou à plus de 5 cm de profondeur.

Brome des prés

Le brome des prés est une espèce utile pour les pâturages, car il pousse rapidement au printemps et repousse rapidement après le broutage. Il est préférable de l'utiliser en pâturage tournant.

Dactyle pelotonné

Le dactyle pelotonné pousse plus rapidement et est beaucoup plus agressif que la fléole ou le brome. Il est appétible lorsqu'il est jeune, mais perd de sa sapidité et de sa digestibilité plus rapidement que les autres graminées. Le dactyle pelotonné pousse beaucoup plus vigoureusement à la mi-été, dans des conditions sèches et chaudes, que la fléole ou le brome, ce qui se traduit par une plus forte proportion de graminées à la deuxième ou troisième coupe des mélanges luzerne-graminée. Le dactyle pelotonné ne résiste pas aussi bien à l'hiver que la fléole ou le brome et ne tolère pas les sols humides. Ses jeunes plants étant agressifs, il s'implante facilement. On recommande de l'utiliser dans les pâturages intensifs ou pour l'ensilage préfané très hâtif.

Alpiniste roseau

L'alpiniste roseau possède des rhizomes et est renommé pour sa capacité à tolérer des sols mal drainés. Il peut toutefois avoir un excellent rendement dans les sols bien drainés ou prédisposés à la sécheresse. Il se multiplie par ses rhizomes, a une tige et des feuilles épaisses et perd vite sa sapidité et sa digestibilité après l'épiaison. Il s'implante lentement et n'est pas concurrentiel dans l'année des semis.

Dans le passé, les animaux nourris à l'alpiniste roseau ont donné un rendement médiocre en raison de certains des alcaloïdes qu'il contenait. Les cultivars recommandés sont exempts d'alcaloïdes tryptomines et carbolines qui en sont la cause. Certains cultivars contiennent moins d'alcaloïdes de graminées, un composé qui réduit la sapidité, la prise alimentaire et le rendement des animaux.

Fétuque élevée

La fétuque élevée est une graminée au feuillage dense et épais, utile dans les pâturages à long terme et comme moyen de lutte contre l'érosion. Elle s'adapte à la plupart des types de sol, tolère bien des drainages imparfaits ainsi que la circulation animale. Le fait qu'elle conserve sa qualité fourragère tard à l'automne en fait une graminée utile dans les « pâturages de réserve ». Un champignon systémique qui prend naissance dans la graine (un endophyte) serait responsable du rendement médiocre des animaux dans les pâturages de fétuque élevée. Une fois les graines infectées, il devient impossible de maîtriser le champignon dans un peuplement installé. Tous les cultivars recommandés en sont exempts.

Vulpin des prés

Le vulpin des prés est une graminée vivace longévive ayant sensiblement la même apparence que la fléole et convenant bien aux pâturages intensifs. Il donne un bon rendement dans les sols mal drainés, a une croissance très rapide au printemps et arrive rapidement à maturité. Pendant les périodes de sécheresse et de température élevée à la mi-été, la croissance peut être lente. Sa graine est très légère et poilue; les semences doivent être enrobées.

ESPÈCES

Fétuque rouge traçante

La fétuque rouge traçante est une graminée gazonnante dense qui s'implante et se multiplie vigoureusement sur la plupart des sols, y compris les sous-sols bien fertilisés. Son système racinaire solide et ses pousses d'herbe fines et denses en font une excellente graminée à semer pour protéger les berges et les voies d'eau engazonnées. Elle peut également être utilisée comme graminée couvre-sol dans les pâturages à long terme et est réputée pour sa période de croissance prolongée et sa bonne qualité alimentaire en automne. Comme cette graminée ne pousse pas très haut, elle est difficile à couper et n'est pas appropriée pour le foin.

Fétuque des prés

La fétuque des prés est une graminée rustique utilisée dans la production du foin et des mélanges de pâturage. Elle pousse mieux dans les sols fertiles et profonds, mais s'accommode également de sols à drainage variable et peu fertilisés. Elle donne un bon rendement en été et en automne et conserve sa qualité alimentaire plus tard en saison que la plupart des autres graminées. La fétuque des prés possède des feuilles plus effilées et un système racinaire moins profond que la fétuque élevée; elle est en outre plus petite que cette dernière et moins persistante.

Ray-grass vivace

Le ray-grass vivace est une plante vivace de faible pérennité. Il existe des cultivars destinés à l'engazonnement, aux pâturages ou à la production de foin. Les cultivars destinés aux pâturages produisent le plus souvent des feuilles plus fines, ainsi que des talles plus petites et plus nombreuses que les cultivars utilisés pour la production du foin, et ils viennent à maturité plus tard en saison. Le ray-grass vivace pousse tôt et vigoureusement au printemps et continue de croître à l'automne; sa croissance s'arrête toutefois pendant les mois chauds et secs de l'été. Une croissance excessive des parties épigées favorise sa destruction en hiver. En association avec la luzerne, il peut être détruit durant l'hiver après une forte croissance à l'automne. Cette graminée résiste mal dans les régions où le sol est couvert de glace pendant de longues périodes et où le froid est extrême et la neige peu abondante.

Pâturin

En Ontario, deux variétés fourragères sont cultivées sur environ un million d'hectares de pâturage permanent : le pâturin comprimé et le pâturin des prés. Dans le sud, le pâturin a un système racinaire peu profond et donne une pousse riche et appétible au printemps; il est toutefois improductif pendant les mois chauds et secs de l'été. On peut accroître considérablement son rendement grâce à une bonne gestion et à une fertilisation adéquate, en particulier dans les zones fraîches du nord de l'Ontario. On les utilise dans les pâturages comme graminée couvre-sol pour combattre les invasions de mauvaises herbes; elle tolère le broutage à ras et le piétinement, et comble les espaces lorsque les autres espèces s'éclaircissent.

Le tableau 5–1, *Caractéristiques des espèces de fourrage vivaces cultivées en Ontario*, p. 161, présente les caractéristiques des espèces de fourrage vivaces cultivées en Ontario.

Fourrages annuels

La principale culture annuelle à usage fourrager est le maïs, qu'on récolte pour l'ensilage. Pour obtenir plus de détails, voir la rubrique *Choix des hybrides destinés à l'ensilage*, p. 65.

Il existe bien d'autres cultures fourragères annuelles. Elles peuvent être intégrées dans l'assolement régulier de l'exploitation ou utilisées en situation d'urgence quand les fourrages pérennes ont été détruits par l'hiver ou qu'on n'en trouve pas assez sur le marché. Les fourrages annuels constituent une source précieuse de foin, de pâturage, d'ensilage ou d'affouragement en vert.

Céréales d'automne (seigle, triticale, blé)

Le seigle d'automne, le triticale d'automne et le blé d'automne procurent un pâturage en automne et en début de printemps. Une bonne fertilisation azotée au printemps suffit à assurer de bons rendements en foin et en ensilage dès la fin du mois de mai. Les céréales d'automne perdent rapidement de leur qualité plus leur degré de maturité est avancé. Le seigle d'automne peut être pâturé en automne s'il a été semé entre le 15 et le 31 août. Il sera prêt à être pâturé sept semaines après les semis. Il produit un plus grand volume de fourrage de printemps que le triticale d'automne ou le blé d'automne. Au printemps, le seigle de pâture doit être enrichi de 50–80 kg d'azote/ha, juste avant de reverdir. L'épiaison commence après la mi-mai si le pâturage n'a pas été brouté trop ras.

Le triticale d'automne se sème à peu près en même temps que le blé d'automne. La semence de triticale d'automne peut être difficile à obtenir. Semer à raison de 100–125 kg/ha et épandre 80 kg d'azote/ha au printemps pour stimuler la production pour la pâture ou pour la fauche. Le triticale d'automne donne un pâturage de début de printemps comparable à celui du seigle d'automne.

Tableau 5–1.
Caractéristiques des espèces de fourrage vivaces cultivées en Ontario

Espèces	Utilisation	Longévité (années)	Intérêts particuliers	Mises en garde
Luzerne	Fourrage entreposé	3–4 (sud de l'Ontario) 1–4 (nord de l'Ontario)	Excellente qualité Excellent rendement	Peut être météorisante Faible longévité en pâturage Faible tolérance aux sols acides ou mal drainés A besoin d'une période de repos automnal
Lotier corniculé	Fourrage entreposé Pâturage	5 et plus (se resème)	Grande qualité Non météorisant Bonne tolérance aux sols acides et à drainage variable	S'implante lentement Croissance printanière et repousse entes A besoin d'une période de repos automnal Inappétent pour les chevaux
Trèfle rouge	Fourrage entreposé Engrais vert Pâturage	1–3	Excellent rendement la première année S'implante facilement Grande qualité Tolère très bien les sols acides ou à drainage variable	Peut être météorisant Peuplements s'éclaircissant rapidement Peut causer une infertilité temporaire des brebis au pacage Forte concurrence, en particulier pour les autres légumineuses
Trèfle blanc	Pâturage	5 et plus	Qualité et sapidité excellentes Bonne tolérance au broutage à ras	Peut être météorisant Faible tolérance à la sécheresse
Trèfle kura	Pâturage	5 et plus	Longévif Grande qualité	S'implante difficilement Peut être météorisant
Trèfle d'Alsike	Fourrage entreposé Pâturage	1–2 (se resème)	Très bonne tolérance aux sols acides et engorgés Bonne qualité	Rendement inférieur au trèfle rouge Rendement de la repousse faible Peuplements s'éclaircissant rapidement Peut être météorisant
Mélilot	Engrais vert Fourrage entreposé	2	Excellent apport aux sols Aère le sous-sol Excellente plante mellifère	Sapidité faible si récolte prématurée Anciens cultivars contenant de la coumarine, qui peut créer des troubles digestifs Une seule récolte par année
Fléole	Fourrage entreposé	5 et plus	S'implante facilement Bonne tolérance aux variations de drainage Semences bon marché	Faible production estivale Faible longévité des cultivars tardifs si on fait trois récoltes
Brome inerme	Fourrage entreposé Pâturage	5 et plus	Excellent rendement au printemps et à l'automne Bonne repousse Garde mieux sa qualité à maturité	Grosses graines qui peuvent rendre les semis difficiles
Brome des prés	Pâturage Fourrage entreposé	5 et plus	Croissance rapide au début du printemps Repousse rapide après broutage ou coupe Bonne rusticité à l'hiver Bonne sapidité	Grosses graines qui peuvent rendre les semis difficiles Sensible aux dégâts dus aux inondations Se multiplie moins par ses rhizomes que le brome inerme
Dactyle	Pâturage Fourrage entreposé	5	Pâturage très hâtif Excellente repousse Bonne tolérance à la sécheresse Tolère bien le broutage à ras Fortement stimulé par l'azote	Perd rapidement sa sapidité et sa qualité à maturité Forte concurrence avec les autres espèces Tolère mal les variations de drainage et la présence de glace
Alpiste roseau	Fourrage entreposé Pâturage	5 et plus	Excellent rendement sur des sols secs ou à drainage variable Bonne repousse Fortement stimulé par l'azote	S'implante lentement Perd rapidement sa qualité et sa sapidité à maturité Faible tolérance au broutage à ras et aux coupes fréquentes

Tableau 5–1.
Caractéristiques des espèces de fourrage vivaces cultivées en Ontario (suite)

Espèces	Utilisation	Longévité (années)	Intérêts particuliers	Mises en garde
Vulpin des prés	Pâturage	5 et plus	S'implante facilement Rendement excellent et très hâtif Tolère très bien les variations de drainage	Semence devant être enrobée Forte concurrence exercée sur les autres espèces Tolère mal la sécheresse Qualité médiocre à maturité
Fétuque élevée	Fourrage entreposé Pâturage Culture herbagère Engazonnement de berges	5 et plus	Haut rendement Bonne croissance estivale Bonne qualité alimentaire en automne Tolère bien les sols acides	Feuillage épais et sapidité faible Nécessité d'utiliser des semences exemptes d'endophytes
Fétuque rouge traçante	Pâturage Culture herbagère Engazonnement de berges	5 et plus	Bonne qualité alimentaire en automne S'implante facilement Tolère bien le broutage à ras et les sols acides Bonne repousse	Faible rendement saisonnier Faible sapidité
Fétuque des prés	Fourrage entreposé Pâturage	5	Bon rendement estival Bonne qualité alimentaire en automne Feuillage fin qui plaît au bétail	Moins persistante et rendement moindre que la fétuque élevée S'implante lentement
Ray-grass vivace	Pâturage Fourrage entreposé	2–3 (sud de l'Ontario)	Excellente qualité et sapidité S'implante très rapidement Tolère bien le broutage à ras	Tolère mal la sécheresse et la chaleur Tolère mal les variations de drainage Longévité variable
Pâturin des prés	Pâturage Culture herbagère Engazonnement de berges	5 et plus	Bonne qualité et sapidité Tolère bien le broutage à ras	Faible production estivale Établissement très lent Faible rendement saisonnier

Céréales de printemps (avoine, orge, triticale)

Les céréales de printemps se prêtent très bien à la culture des pâturages. On fait grand usage de l'avoine et de l'orge comme plante-abri dans les semis de plantes fourragères pérennes et on les récolte généralement pour l'ensilage. Les céréales peuvent également servir de foin ou de pâturage.

Les céréales peuvent être semées à toute époque de la saison de végétation, bien que le semis en début de printemps fournisse le rendement maximal. Puisqu'un apport d'azote stimule la végétation, on conseille d'épandre 30–50 kg d'azote/ha. La fauche ou le broutage peut d'habitude commencer de six à huit semaines après le semis. Comme la qualité fourragère baisse rapidement après l'épiaison, on les récolte à la fin du stade de gonflement ou en début d'épiaison. Le rendement de matière sèche augmente à mesure que le plant approche de la maturité, mais la qualité fourragère chute brutalement. Pour l'ensilage, le fourrage doit être ramené à 50–65 % d'humidité.

Les ensilages de céréales sont plus riches en protéines que l'ensilage de maïs, mais ils sont généralement plus pauvres qu'un bon ensilage préfané de luzerne. La valeur énergétique est plus basse que celle de l'ensilage de maïs et souvent comparable à celle de l'ensilage préfané de luzerne.

On préfère l'avoine à l'orge pour l'utilisation comme foin ou comme pâturage, à cause de sa plus grande sapidité. On peut aussi utiliser des céréales mélangées ou du blé de printemps.

Pour plus de renseignements sur les mélanges de céréales de printemps, consulter la fiche technique du MAAARO, *Production de fourrage à partir de céréales de printemps et de mélanges céréales-pois*, commande n° 98-042, ou consulter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/facts/98-042.htm.

Mélanges céréales-pois

Le pois de grande culture, en association avec d'autres céréales, améliore la valeur alimentaire. Il peut améliorer la teneur en protéines et la digestibilité s'il

compte pour au moins 50 % (en poids) du mélange. Cela augmentera le coût des semences. On préfère les cultivars de pois fourragers. Éviter de prendre un cultivar de pois semi-aphylle (c.-à-d. dont les folioles sont transformés en vrilles) pour un rendement en feuilles maximal. Le mélange avoine-pois peut être utilisé comme culture-abri pour la luzerne et devrait être récolté pour l'ensilage. Faucher lorsque l'avoine commence à épier. Le pois commence alors juste à faire ses gousses. Ce stade de croissance se produit vers la dernière semaine de juin.

Un mélange de triticale de printemps et de pois peut servir de culture fourragère. La densité du semis et la gestion des cultures sont semblables à celles du mélange avoine et pois. Les mélanges de triticale et de pois sont habituellement plus riches en pois au moment de la récolte que les mélanges d'avoine et de pois. Il en résulte une meilleure qualité, mais le préfanage des plants est plus long et le temps de fanage avant l'ensilage doit être prolongé.

Soya destiné au fourrage

Bien qu'en Ontario on cultive surtout le soya pour son huile, il peut donner un fourrage de haute qualité comme culture annuelle. Le soya plante entière qui est bien en gousses a des teneurs en protéines et un taux de digestibilité comparables à ceux de la luzerne. Le soya peut se récolter sous forme d'ensilage ou de foin, mais il est difficile à sécher dans ce dernier cas.

Le choix du cultivar doit tenir compte de la hauteur de la plante et de son degré de ramification. On a développé des cultivars de soya destinés au fourrage. Un semis dense au semoir à céréales, à raison de 80–100 kg/ha, donne une couverture convenable pour la culture des pâturages. Très peu d'herbicides sont homologués pour la culture du soya comme fourrage. Lire attentivement les mises en garde précisées sur l'étiquette des produits ou utiliser une houe rotative sept à dix jours après le semis pour freiner la croissance des mauvaises herbes. Consulter la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, à la rubrique *Méthodes mécaniques de lutte contre les mauvaises herbes*. Récolter quand les feuilles du bas commencent à jaunir, c'est-à-dire vers la première semaine de septembre en Ontario. On ne prélève qu'une seule coupe par saison.

Graminées annuelles de saison chaude

Les membres de la famille du sorgho, de l'herbe du Soudan et du millet sont des graminées annuelles tropicales, de saison chaude, qui poussent dans des zones semi-arides. On utilise souvent les graminées annuelles de saison chaude comme fourrage dans les situations d'urgence lorsque la luzerne a été détruite par l'hiver ou lorsque les semis sont retardés. Elles présentent des avantages par rapport à l'ensilage de maïs, car elles peuvent être cultivées à l'aide du matériel de semis et de récolte traditionnel. En Ontario, on les utilise également pour l'ensilage (haché ou en grosses balles), l'affouragement en vert ou le pâturage. Le sorgho et l'herbe du Soudan ne sont pas recommandés pour la fauche, car ils sont difficiles à sécher. Le millet est souvent utilisé pour l'ensilage et même pour la production de foin, dans de bonnes conditions de séchage. **Le sorgho et l'herbe du Soudan ne doivent pas être utilisés dans l'alimentation des chevaux, car ces graminées peuvent causer la cystite, une inflammation de la vessie.** Pour plus d'information, voir la publication 19F du MAAARO, *La culture des pâturages*.

Millets

Le nom « millet » a été donné à de nombreuses graminées possédant de petites graines comestibles. La plupart des variétés (notamment le millet du Japon, le millet commun, le millet d'Italie, le millet pied-de-coq, le millet kodo, le mil rouge et le teff) ont des tiges courtes (0,3–1,2 m ou 1–4 pi) et minces. Le millet à chandelle fait exception, sa tige étant au moins deux fois plus longue (1,5–3 m ou 5–10 pi) et plus épaisse. En Ontario, les variétés utilisées le plus souvent pour le fourrage sont le millet à chandelle et le millet du Japon. Bien gérées, les prairies de millet peuvent donner un fourrage de très bonne qualité.

Le millet a une plus petite tige que le sorgho et est légèrement plus riche en protéines et en unités nutritives totales (UNT) que ce dernier. On le préfère souvent à certaines variétés de sorgho pour le pâturage ou l'affouragement en vert, car il ne contient pas d'acide prussique. Le millet et le sorgho sont facilement endommagés par les animaux au pâturage et doivent donc être pâturés en lisières.

Millet à chandelle

Le millet à chandelle produit une masse de talles et de racines secondaires très fines et fasciculées. Il résiste bien à la sécheresse et préfère un sol légèrement sableux ou un loam sableux. Le sorgho donne un meilleur rendement sur un sol plus lourd. On sème le millet à chandelle lorsque les risques de gel sont passés et lorsque la température du sol atteint 12 °C (54 °F) ou plus. Le meilleur temps est habituellement la dernière semaine de mai ou le début juin, mais on peut aller jusqu'au début juillet. Semer le millet à raison de 9–20 kg/ha, à 1 cm (½ po) de profondeur.

La qualité du fourrage et sa quantité dépendent du stade de maturité au moment de la récolte. Pour

obtenir une qualité fourragère optimale, la première coupe doit habituellement se faire environ 55–60 jours après les semis, alors que le millet est encore en végétation. La deuxième coupe se fait environ 30–35 jours plus tard. Pour accélérer la repousse, laisser un chaume d'environ 10 cm (4 po), et d'environ 15–20 cm (6–8 po) pour le broutage.

Pour obtenir un rendement et des taux de protéines élevés, le millet à chandelle destiné au fourrage nécessite plus d'azote que les anciens cultivars; on ne connaît toutefois pas les taux exacts. Les habitudes de croissance et le rendement du millet à chandelle destiné au fourrage sont sensiblement les mêmes que ceux des hybrides sorgho-Soudan. Une application fractionnée de l'azote, la moitié au moment des semis et l'autre au moment de la première coupe, permet d'optimiser le rendement et la qualité. Pour de plus amples renseignements sur la lutte contre les mauvaises herbes, consulter la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

La famille du sorgho

Les membres de la famille du sorgho peuvent être utilisés comme fourrage, notamment le sorgho fourrager, l'herbe du Soudan et divers hybrides. Les qualités agronomiques et nutritionnelles diffèrent considérablement entre les espèces, les hybrides et les cultivars.

Sorgho et hybride sorgho-Soudan

Le sorgho fourrager et l'hybride sorgho-Soudan donnent de grands plants et peuvent donner un rendement élevé. Les anciens cultivars de sorgho fourrager étaient adaptés aux récoltes à une coupe produisant une qualité de fourrage faible, mais un rendement élevé. Le sorgho-grain, appelé aussi milo, n'est pas recommandé pour la production de fourrage en raison de son faible rendement en matière sèche.

De nouveaux hybrides de sorgho ont été développés comme fourrage de saison courte, à deux coupes et de grande qualité. Les racines secondaires fines et fasciculées et les talles de l'hybride de sorgho fourrager lui permettent de résister à la sécheresse. Le sorgho fourrager tolère mieux les sols à texture fine que le millet à chandelle. Ces plantes donnent une croissance optimale dans des conditions chaudes et humides.

Semer les hybrides de sorgho fourrager lorsque le risque de gel est passé et que les températures du sol dépassent 12 °C (54 °F), habituellement la dernière semaine de mai ou au début de juin, à raison de 15–20 kg/ha, à 1 cm (½ po) de profondeur. Fertiliser avec du phosphore et de la potasse selon les résultats de l'analyse du sol. En ce qui concerne l'azote, on recommande d'en épandre 50–100 kg/ha. Une application fractionnée d'azote, la première moitié lors du semis et l'autre moitié après la première coupe, optimise le rendement et la qualité. Pour la lutte contre les mauvaises herbes, voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Le stade de maturité est le facteur le plus déterminant en ce qui concerne la qualité et la quantité du fourrage. En général, le sorgho fourrager se récolte 60–65 jours après le semis (fin juillet ou début d'août), et il sera prêt pour une deuxième coupe 30–35 jours plus tard. Pour une repousse plus rapide après la fauche, laisser au moins 10 cm (4 po) de chaume à la récolte, ou 15–20 cm (6–8 po) au pâturage. Un régime à une coupe augmente considérablement le rendement, mais la qualité en souffrira. La qualité baisse énormément après l'épiaison. La récolte doit être fanée et ensilée à une teneur en eau d'environ 65 %.

On est en train de développer un sorgho fourrager à nervure brune (BMR) dont la digestibilité de la fibre est accrue. Il s'agit d'une mutation génétique qui réduit la quantité de lignine dans la tige, mais qui peut aussi augmenter la verse.

L'herbe du Soudan

L'herbe du Soudan est utilisée pour le pâturage. Elle a des tiges de la grosseur d'un crayon et conserve sa sapidité même après l'épiaison. Le broutage ne doit pas commencer avant que la culture atteigne une hauteur de 45 cm (18 po). En pâturage tournant, la culture demeure productive et succulente toute la saison. L'herbe du Soudan tolère des sols légèrement plus humides que les autres sorghos, mais elle préfère les sols assez bien ou bien drainés.

Intoxication à l'acide prussique

Le sorgho et l'herbe du Soudan peuvent provoquer une intoxication à l'acide prussique (acide cyanhydrique) chez les bestiaux. Les plants jeunes ou immatures et ceux qui ont souffert de la sécheresse ou du gel présentent plus de risques d'intoxication, car leur teneur en acide prussique est plus élevée. Les risques de gel sont plus grands dans les régions à saison de végétation courte. Une fertilisation abondante à l'azote augmente également les risques de toxicité. Voici quelques conseils pour réduire les risques d'intoxication à l'acide prussique :

- Ne pas faire brouter le sorgho ni l'affourager en vert avant qu'il atteigne 45–60 cm (18–24 po) de hauteur.

- Après une gelée meurtrière, attendre au moins trois jours avant d'ensiler le sorgho de plus de 76 cm (30 po) de hauteur ou de l'affourager en vert.
- Après une gelée meurtrière, attendre au moins trois semaines avant d'affourager en vert le sorgho de moins de 45 cm (18 po).
- Après une période de sécheresse, ne pas faire brouter la repousse mouillée par la pluie.
- Utiliser des cultivars de sorgho contenant moins d'acide prussique.

Le millet ne présente pas de risques d'intoxication à l'acide prussique.

Intoxication aux nitrates

Des teneurs anormalement élevées en nitrates dans les fourrages peuvent provoquer des intoxications et même la mort du bétail et, si le fourrage est ensilé, la formation de gaz d'ensilage. Parmi les diverses espèces de fourrage, ce sont les hybrides sorgho-Soudan et les céréales qui accumulent les niveaux les plus élevés de nitrates; les légumineuses n'en contiennent que peu et sont rarement source de danger. Les graminées fourragères se situent entre ces deux groupes. Le maïs destiné à l'affouragement en vert ou à l'ensilage peut également provoquer une intoxication aux nitrates.

Les teneurs en nitrates ne deviennent vraiment dangereuses que dans des conditions de croissance anormales, notamment :

- une très forte teneur en azote du sol, résultant d'apports excessifs en engrais azotés ou de fumier ou d'une combinaison de ces causes avec enfouissement d'une légumineuse comme engrais vert;
- une longue sécheresse suivie de pluie. Dans ces circonstances, attendre dix jours après la pluie avant de récolter, de façon à permettre aux nitrates de se transformer en protéines;
- toutes circonstances naturelles entraînant la destruction des feuilles tandis que les racines et les tiges demeurent actives et accumulent les nitrates (gelée, grêle et parfois sécheresse, par exemple).

On peut analyser les aliments douteux pour établir leur teneur en nitrates. L'ensilage réduit les teneurs en nitrates. Il est à noter que l'ensilage de fourrage à fortes teneurs en nitrates peut produire un gaz mortel, le dioxyde d'azote (voir la rubrique *Gaz d'ensilage*, p. 187).

Crucifères fourragères : colza fourrager, chou fourrager et navet fourrager

Le colza fourrager, le chou fourrager et le navet fourrager font un excellent pâturage de septembre à décembre. Voir la publication 19F du MAAARO, *La culture des pâturages*, pour obtenir de plus amples renseignements.

Ray-grass annuel

Le ray-grass annuel est une graminée en touffe à croissance rapide qui convient à un vaste éventail de conditions du sol. Il repousse continuellement tout au long de la saison et peut être très productif s'il reçoit assez d'eau et d'azote. Espèce intéressante pour la production en mi-saison ou fin de saison, le ray-grass offre un rendement médiocre dans des conditions de hautes températures. Pendant les périodes où la pluviosité est insuffisante ou nulle, la croissance cesse et les plantes peuvent même mourir.

Il existe deux types de ray-grass, qui se distinguent par leur type de croissance.

Le ray-grass d'Italie

Le ray-grass d'Italie est une plante vivace de courte pérennité, mais il se comporte comme une graminée annuelle dans les conditions hivernales de l'Ontario. Il demeure végétatif et donne une riche croissance feuillue qui ne dépasse généralement pas 40 cm (16 po). Il se prête mal à la production de foin.

Le ray-grass de type Westerwold

Le ray-grass de type Westerwold est une vraie graminée annuelle. Il atteint 40–80 cm (16–32 po) de hauteur et peut servir au pâturage ou à la production de foin. Les cultivars de Westerwold atteignent une meilleure hauteur, produisent des tiges et facilitent donc la production de foin. Il faut le faucher à l'épiaison ou avant, car la qualité fourragère diminue rapidement après ce stade.

Semer en début de printemps à raison de 20–25 kg/ha avec le semoir à céréales ou le rouleau semeur (cultitasseur). Il faut semer ces semences très légères à une profondeur de 1 cm et utiliser un rouleau pour assurer une bonne levée.

Le tableau 5–2, *Caractéristiques des cultures fourragères annuelles en Ontario*, p. 166, résume les caractéristiques des cultures fourragères annuelles produites en Ontario.

ESPÈCES

Tableau 5–2. Caractéristiques des cultures fourragères annuelles en Ontario

Culture annuelle	Utilisation	Date de semis	Taux de semis (kg/ha)	Dose d'azote (kg/ha)	Rendement moyen (t de MS/ha)	Récolte
Avoine	Pâturage Affouragement en vert Foin Ensilage	D'avril à août	80–100	30–50	2,5–4,5 5,5–8,5	De fin montaison à début épiaison D'épiaison à grain pâteux mou
Orge	Affouragement en vert Ensilage	D'avril à juin	100–125	40–70	2,5–5,5 5,5–9,5	De fin montaison à début épiaison D'épiaison à grain pâteux mou
Avoine + pois ou triticale + pois	Ensilage	D'avril à juin	Avoine ou triticale : 80–100 Pois : 50–75	20–30	2,5–5,0 6,0–9,0	De fin montaison à début épiaison D'épiaison à grain pâteux mou
Seigle d'automne	Pâturage	Du 15 au 31 août	150	50–80 au printemps	1,0–1,5	Faire brouter 7 sem. après semis ou en début de printemps
Triticale d'automne	Pâturage	Du 25 août au 10 sept.	100–125	80 au printemps	1,0–1,25	Faire brouter 7 sem. après semis ou en début de printemps
Soya	Ensilage	Du 20 mai au 10 juin	80–100	Néant	6,0–9,0	Jaunissement des feuilles du bas
Luzerne annuelle	Foin Ensilage	Fin avril	13	Néant	6,0–12,0	Fin du bourgeonnement, 5–6 sem. après coupe
Herbe du Soudan	Pâturage	Du 1er au 15 juin	15–20	30–50	5,0–7,0	45 cm de hauteur
Hybrides sorgho-Soudan	Pâturage Affouragement en vert Ensilage	Du 1er au 15 juin	15–20	50–100	8,0–12,0	Montaison ou début épiaison
Sorgho fourrager	Ensilage Pâturage Affouragement en vert	Du 1er au 15 juin	13–20	100	7,0–9,0	Montaison ou début épiaison
Millet	Ensilage Pâturage Affouragement en vert Foin	Du 1er au 15 juin	14–20	35–55	4,0–6,0	Montaison ou début épiaison
Millet à chandelle	Ensilage Pâturage Affouragement en vert Foin	Du 1er au 15 juin	9–20		4,0–12,0	Montaison ou début épiaison
Colza fourrager	Pâturage Affouragement en vert	Du 1er au 15 juillet	2–6	45–70	7,0–9,0	10–12 sem. après semis
Chou fourrager	Pâturage Affouragement en vert	Juin et juillet	2–6	45–70	9,0–12,0	10–15 sem. après semis
Navet fourrager	Pâturage	Du 1er au 15 juillet	2–6	80–100	6,0–9,0	10–12 sem. après semis
Seigle annuel	Pâturage Affouragement en vert Foin Ensilage	Avril et mai	20–30	Utiliser les doses du tableau 5–7, p. 174	8,0–12,0	Faucher ou faire brouter 6 –8 sem. après semis

100 kg/ha = 90 lb/ac

Choix des mélanges

Il importe de tenir compte des conditions du sol lorsqu'on détermine les espèces qui conviennent à un mélange. Habituellement, on choisit les légumineuses en premier, puis les graminées, parce que les légumineuses sont souvent plus sensibles au drainage et au pH. Une légumineuse qui persiste à long terme peut être préférable pour les sols en pente ou rocailleux. Consulter la rubrique *Légumineuses vivaces*, p. 157, pour en savoir plus sur la tolérance des légumineuses à différentes conditions de sol (voir la figure 5–1, *Drainage du sol requis par les espèces de fourrage*, ci-contre).

On cultive généralement les légumineuses dans un mélange composé d'au moins une graminée. Les principaux avantages d'un peuplement de légumineuses pur sont que les niveaux de protéines et d'énergie alimentaires ont plus de chances d'être élevées, que la qualité baisse plus lentement avec la maturité et que la qualité varie peu d'une coupe à l'autre. Sans une bonne gestion, les peuplements de légumineuses purs peuvent présenter les désavantages suivants :

- peuplements plus envahissants;
- perte complète en cas d'une grave destruction par l'hiver;
- séchage plus lent pendant l'andainage;
- verse plus grande;
- dans certaines conditions, moins grande sapidité.

Quand vient le temps de choisir une graminée, le moment où survient la maturité est un facteur très important. Si on utilise des espèces qui ont une épiaison précoce, comme le dactyle pelotonné et l'alpiste roseau, il faut les récolter plus tôt, sinon la sapidité et la qualité en souffriront. Si la récolte se fait plus tard, il vaut mieux choisir une graminée à maturité plus tardive, telle que la fléole. Il faut également tenir compte du fait que le moment où survient la maturité diffère beaucoup parmi les cultivars de nombreuses espèces.

Déterminer le ratio graminée-légumineuse dans le mélange. Si on veut plus de graminées et qu'une teneur plus faible en protéines est acceptable, comme ce serait le cas, par exemple, pour une exploitation de naissage, la proportion de graminées doit être plus grande. Les mélanges dont la proportion de graminées est plus élevée ont tendance à réduire les invasions de mauvaises herbes, surtout les pissenlits. Si les conditions offrent peu de chances de survie pour les légumineuses, utiliser une plus grande proportion de graminées pour garantir le peuplement. Les espèces plus envahissantes, comme

Figure 5–1.
Drainage du sol requis par les espèces de fourrage

le dactyle pelotonné, donnent plus de graminées que celles qui le sont moins, même si leur proportion est à peu près égale dans le mélange.

Le tableau 5–3, *Mélanges recommandés pour le fourrage entreposé et le pâturage*, p. 168, résume les caractéristiques des espèces de fourrage vivaces et les mélanges cultivés en Ontario.

Depuis bien des années, la fléole est la graminée de choix pour les cultures mélangées avec de la luzerne, du trèfle rouge et du lotier corniculé. Cette popularité s'explique par la facilité du semis, le coût relativement peu élevé des semis, la faible densité des légumineuses et une maturité tardive de la fléole, ce qui la rend plus facile à gérer dans des mélanges. Dans des situations particulières, les autres graminées peuvent donner de meilleurs résultats que la fléole, mais nécessitent souvent une gestion quelque peu différente.

La fléole n'envahit pas la luzerne. En fait, dans un régime à trois coupes, elle décline souvent dans un peuplement et fournit très peu de fourrage à la deuxième et à la troisième coupes. Le dactyle pelotonné produit plus en mi-été dans les mélanges de luzerne que la fléole. Si on veut une grande part de graminées dans le mélange, surtout à la deuxième et à la troisième

CHOIX DES MÉLANGES

Tableau 5–3.
Mélanges recommandés pour le fourrage entreposé et le pâturage

Plantes	Taux de semis[1] (kg/ha)	Recommandé pour			Recommandations particulières
		Fourrage entreposé	Pâturage	Pâturage intensif	
1.Luzerne	13	X			Dans des sols bien drainés seulement, où la luzerne persiste bien. Plus facile à sécher comme ensilage que comme foin. Récolter au stade du bouton pour une qualité alimentaire élevée.
2.Luzerne, fléole	13, 1	X			Augmenter le taux de fléole jusqu'à 4 kg/ha pour une plus grande proportion de graminées et un meilleur séchage. La fléole assure la survie du peuplement là où la luzerne est vulnérable à la destruction par l'hiver. Récolter lorsque la fléole est au stade de montaison pour une haute teneur alimentaire en protéines. Dans les régions qui reçoivent plus de 3100 UTC et dans les sols prédisposés à la sécheresse, le brome est préférable à la fléole.
3.Luzerne, brome	11, 9	X			Préféré au mélange luzerne-fléole pour la productivité à la mi-été. Conserve mieux sa qualité à maturité que les mélanges contenant du dactyle pelotonné ou de la fléole. En raison de ses rhizomes, le peuplement de brome peut devenir plus dense avec le temps.
4.Luzerne, dactyle pelotonné	11, 2	X		X	Choisir des cultivars tardifs de dactyle et des cultivars précoces de luzerne. Couper ou faire brouter tôt pour maintenir la qualité et la sapidité. Le pourcentage de graminées est plus élevé dans toutes les coupes que les mélanges à base de fléole ou de brome.
5.Luzerne, dactyle pelotonné et trèfle blanc	9, 2, 2	X		X	Comme au point 4. Pour une production optimale, il faut une bonne fertilisation et une bonne gestion du pâturage. La luzerne constitue une garantie contre la sécheresse, mais elle demande de plus longues périodes de repousse pour survivre.
6.Luzerne, fléole, brome et trèfle blanc	9, 4, 9, 2	X		X	Convient bien pour les combinaisons foin-pâturage.
7.Lotier corniculé, fléole	9, 2	X	X		Utiliser de la fléole à maturité tardive.
8.Lotier corniculé, brome	9, 4	X	X		Pour des peuplements de longue durée et une production précoce. Faire brouter tôt pour réduire la concurrence du brome. Bonne croissance du brome à l'automne.
9.Lotier corniculé, dactyle pelotonné	8, 4			X	Bonne production précoce et en mi-saison. Faire brouter le dactyle pour réduire sa concurrence avec le lotier corniculé. Les cultivars de dactyle à maturité tardive sont préférables.
10. Lotier corniculé, fétuque élevée[2]	8, 10	X	X	X	Bonne production tout au long de la saison. Bonne croissance et bonne qualité de la fétuque élevée en automne.
11. Lotier corniculé, fétuque rouge traçante	8, 6		X		Bonne production estivale et automnale. Excellente qualité en automne.
12.Trèfle rouge	11	X			Production à court terme de foin ou d'engrais vert à enfouir.
13.Trèfle rouge, fléole	7, 6	X			Production à court terme. Quand le trèfle disparaît, labourer ou fertiliser à l'azote pour maintenir la production.
14.Trèfle blanc, dactyle pelotonné	2, 9			X	À utiliser pour les pâtures où le trèfle blanc convient. Pour une production optimale, une bonne fertilisation, une humidité adéquate et une bonne gestion du pâturage sont nécessaires. Dans les endroits secs, ajouter de la luzerne (voir le point 5 ci-dessus).

[1] Pour un semis précoce dans un lit de semence ferme et à texture fine, ces taux peuvent être réduits de 25 %, sauf quand on emploie des semences enrobées.

[2] Utiliser des semences exemptes d'endophytes.

coupes, il faut alors utiliser le dactyle pelotonné; c'est une graminée agressive qui envahit la luzerne à mesure que le peuplement vieillit. Le brome et l'alpiste roseau ont un degré d'agressivité intermédiaire qui se situe entre celui de la fléole et du dactyle pelotonné.

La gestion peut jouer sur la concurrence des graminées avec les légumineuses. Une récolte tardive, lors de la floraison des graminées, favorise les graminées par rapport aux légumineuses. Cela est particulièrement vrai pour l'alpiste roseau. Coupé en fin de montaison, l'alpiste roseau n'envahit pas les légumineuses. Cependant, si on le laisse avoir une épiaison complète, il domine rapidement le peuplement. Si on utilise le brome ou l'alpiste roseau dans les mélanges de lotier corniculé, il importe de récolter dès le stade de montaison. Si ce n'est pas possible ou pratique, il vaut mieux employer la fléole.

On ne cultive habituellement pas les graminées en peuplements purs parce que leur rendement est faible sans un apport abondant d'azote. (Voir la rubrique *Fertilisation*, p. 174). Même avec une fertilisation adéquate, certaines espèces de graminées donnent un faible rendement lorsque les étés sont chauds et secs. Toutefois, si les sols mal drainés rendent les mélanges avec des légumineuses à peu près impossibles, les peuplements de graminées purs peuvent être très productifs si on choisit les cultivars et les programmes de fertilisation appropriés. Les peuplements de graminées purs peuvent être plus productifs que les mélanges graminée-légumineuse dans certaines régions de l'Ontario.

Pour les aliments entreposés, on recommande habituellement d'utiliser une seule espèce de graminées. Lorsqu'on mélange deux ou trois espèces, il est pratiquement impossible que toutes les graminées soient prêtes en même temps pour la coupe. On mélange souvent la fléole avec des graminées qui s'installent lentement, telles que le brome et l'alpiste roseau.

Choix des cultivars

Les cultivars de fourrage sont évalués chaque année dans le cadre d'essais effectués dans différentes régions de l'Ontario. Les résultats sont publiés dans les tableaux qu'on trouve sur le site Web suivant : www.plant.uoguelph.ca/performance_recommendations/ofcc/ofcc.htm.

Ces tableaux fournissent des renseignements sur le rendement des cultivars recommandés ainsi que sur des facteurs comme la rusticité, le potentiel d'ingestion, la digestibilité des fibres, la résistance aux maladies et aux insectes, la maturité et le taux de repousse.

Toutes les semences fourragères vendues sous un nom de cultivar doivent être certifiées et porter l'étiquette bleue attestant leur généalogie. Les semences certifiées doivent répondre à des exigences relatives à la germination et à la teneur en graines de mauvaises herbes.

Parmi les semences fourragères en vente sur le marché, il y a également les semences sans nom et celles portant une marque de commerce. Il peut s'agir de mélanges de différents lots. Elles doivent aussi répondre à des exigences relatives à la germination et à la teneur en graines de mauvaises herbes, exigences qui sont cependant moins rigoureuses que celles des semences certifiées. Aucune garantie n'est donnée quant aux caractéristiques, comme la résistance aux maladies et la longévité, pour les semences sans nom. Le rendement des peuplements établis avec des semences sans nom ou portant une marque de commerce est donc imprévisible et varie souvent d'une année à l'autre; par conséquent, l'utilisation de semences certifiées est fortement recommandée. C'est seulement en plantant des cultivars que l'agriculteur peut prévoir si les semences utilisées fourniront le rendement, la rusticité, la résistance aux maladies et le stade de maturité nécessaires à ses champs et à ses activités.

Travail du sol

Préparation du lit de semence

Le travail du sol a trois objectifs :

1. Produire un lit de semence ferme et nivelé qui permet un bon contrôle de la profondeur des semis.
2. Produire un lit de semence à texture fine qui permet un bon contact entre la semence et le sol.
3. Produire une surface lisse pour les travaux de récolte.

Les semences fourragères étant très petites, un bon contact entre la semence et le sol est essentiel à la germination, surtout dans des conditions sèches. Un lit de semence meuble et grumeleux sèche rapidement et les mottes rendent la levée des plantules difficile. Le sol doit être assez ferme au moment du semis pour qu'une empreinte de pied ne s'enfonce pas plus de 9 mm (⅜ po). Il peut être utile de tasser le sol avant le semis, surtout les loams sableux où le travail des disques produit un lit de semence « aéré ». Le tassage doit se faire peu de temps après le semis pour prévenir la perte excessive d'humidité. Le fourrage a de meilleures chances de s'établir dans les loams argileux lorsqu'ils ont été labourés à l'automne. L'action du gel et du dégel sur ces sols facilite la préparation d'un lit de semence à texture fine le printemps suivant.

Les sols lourds labourés au printemps nécessitent souvent beaucoup trop de travail avant de produire un lit de semence à texture fine. Si on émiette trop finement les sols, il peut se former une croûte à la surface qui réduit la levée après une forte pluie, en plus d'augmenter les risques d'érosion et de diminuer l'infiltration de l'eau.

Le semis direct des fourrages donne d'assez bons résultats lorsque le sol après la culture précédente était lisse et nivelé. Le plus grand facteur de risque du semis direct s'avère les ravages causés par les limaces sur les surfaces couvertes d'une épaisse couche de résidus végétaux.

Une couche épaisse de résidus végétaux protège davantage les terres vulnérables à l'érosion. Il faut toutefois être capable de manœuvrer le matériel de semis malgré cette épaisse couche laissée par un sol peu travaillé, afin de ne pas compromettre le semis.

Établissement (semis)

Lorsqu'on choisit un terrain, il faut déterminer s'il convient au mélange que l'on veut semer. Si le pH est faible, le sol est mal drainé ou s'il y a des mauvaises herbes, telles que le chiendent, il faut corriger ces problèmes avant le semis.

Période du semis

Semis de printemps

La période la plus fiable pour le semis est en début de printemps, que la culture soit semée directement ou sous une culture-abri. Lorsque le semis a lieu au printemps, le sol est habituellement suffisamment humide et les plants ont le temps de bien s'établir de manière à survivre à l'hiver. Semer dès que le lit de semence est prêt, afin d'augmenter les chances d'avoir une humidité adéquate et fréquente pendant la période cruciale de germination.

Semis d'été

Le semis d'été peut être une solution de rechange viable au semis de printemps. Un semis d'été peut normalement suivre une récolte de céréales d'automne ou de printemps. Les cultures-abri ne sont pas recommandées en semis d'été, car les cultures peuvent se faire trop concurrence pour l'humidité disponible. Le semis d'été donne de bons résultats sur des sols à texture fine, mais présente des risques dans les sols plus lourds.

Voici les principaux facteurs qui contribuent à la réussite d'un semis d'été :

Date du semis

Semer trop tôt en été augmente les risques de chaleur et de sécheresse pendant la germination et le développement des plantules. Semer trop tard augmente les risques de gel avant que les plantules n'aient le temps de bien s'établir et d'accumuler suffisamment de réserves dans les racines pour passer l'hiver. Les légumineuses semées en septembre ou en octobre survivent rarement à l'hiver. La luzerne a besoin d'environ six semaines de croissance après la germination pour résister à l'hiver. En général, si le collet se développe avant une gelée meurtrière, elle survit. Les petits plants de légumineuses sont plus vulnérables au déchaussement par le gel. Même si les plants ne meurent pas, ils sont moins précoces et leur rendement est moins élevé.

Les semis d'été doivent avoir lieu avant les dates suivantes :

- plus de 2 900 UTC — du 10 au 20 août
- de 2 500 à 2 900 UTC — du 1er au 10 août
- moins de 2 500 UTC — du 20 au 30 juillet

Comme le développement des plantules du lotier corniculé est lent, le semis d'été ne connaît habituellement pas de succès. Les graminées à tige dressée semées en septembre peuvent réussir à s'établir, sauf l'alpiste roseau, qui ne doit pas être semé en été en raison de sa croissance lente.

Préparation du lit de semence

Le contact entre le sol et la semence revêt une importance particulière lorsque l'été est sec. Un lit de semence meuble et grumeleux s'assèche rapidement. Le tassage peut aider à conserver l'humidité. En août, il peut être plus difficile de préparer un lit de semence à texture fine sur des loams argileux comparativement à des loams, à des loams sableux et à des loams limoneux.

Déchaussement par le gel

Éviter le semis d'été dans les sols à texture fine où la luzerne a déjà souffert de déchaussement par le gel.

Lutte contre les mauvaises herbes

Les mauvaises herbes annuelles d'automne sont un problème courant qui peut nécessiter l'épandage d'herbicides. Consulter la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*. Il faut prendre des précautions pour éviter que l'utilisation d'herbicides ne retarde la croissance.

Repousse de céréales

Comme les repousses de céréales peuvent être très denses et très concurrentielles, elles deviennent parfois un problème grave pour les semis d'été. L'avoine ou l'orge est détruit par l'hiver en novembre, mais le blé

Tableau 5–4.
Taux de semis recommandés pour les peuplements de graminées purs

Espèce	Taux de semis (kg/ha)[1]
Fléole	8–10
Brome	10–14
Dactyle pelotonné	8–10
Alpiste roseau	10–12
Fétuque élevée et fétuque des prés	9–11
Fétuque des prés[2]	10–12
Ray-grass vivace	10–15

[1] Pour le semis précoce dans un lit de semence ferme à texture fine, on peut réduire ces taux de 25 %, sauf si on utilise des semences enrobées.

[2] Utiliser des semences enrobées, car elles peuvent être semées avec la trémie du semoir.

d'automne résiste jusqu'à la première coupe de l'année suivante. On peut travailler le sol pour réduire les problèmes causés par les repousses de céréales. Il existe des herbicides efficaces contre elles, mais les graminées fourragères du mélange risquent de subir un stress ou d'être éliminées également.

Semis direct

Les semis directs d'été peuvent réussir si on prête une attention particulière à la gestion des résidus, à la mise en place des semences et à la lutte contre les mauvaises herbes. Toutefois, il n'est pas recommandé d'employer le semis direct pour réensemencer un champ de luzerne en août en raison de l'autotoxicité de la luzerne, des limaces et des maladies qui peuvent être présentes dans l'ancienne prairie.

Taux et profondeur de semis

Les taux de semis recommandés dans le tableau 5–3, *Mélanges recommandés pour le fourrage entreposé et le pâturage*, p. 168, et le tableau 5–4, *Taux de semis recommandés pour les peuplements de graminées purs*, ci-dessus, ont été calculés pour des conditions allant de moyennes à bonnes. On peut réduire ces taux de 25 % lorsque la gestion est excellente et les conditions favorables à l'établissement. On ne peut cependant pas réduire les taux de semis lorsqu'on utilise de la semence enrobée, car celle-ci contient moins de semences par unité de poids. Une augmentation des taux de semis ne compense pas de mauvaises conditions (lit de semence accidenté, culture-abri dense, etc.).

La taille des semences peut varier entre les cultivars et les lots de semences d'un même cultivar. On peut éviter de semer trop ou pas assez de semences par un bon réglage du semoir. Voir tableau 5–5, *Nombre approximatif de semences par unité de poids pour différentes espèces de fourrage*, ci-dessus.

Tableau 5–5.
Nombre approximatif de semences par unité de poids pour différentes espèces de fourrage

Culture	Semences par kg	Semences par livre
Luzerne	440 000	200 000
Trèfle rouge	605 000	274 000
Trèfle blanc	1 760 000	798 000
Lotier corniculé	935 000	424 000
Mélilot	572 000	259 000
Trèfle d'Alsike	1 540 000	699 000
Fléole	2 706 000	1 227 000
Dactyle pelotonné	1 439 000	653 000
Brome	300 000	136 000
Fétuques élevée et des prés	506 000	230 000
Ray-grass vivace	500 000	227 000
Alpiste roseau	1 173 000	532 000
Pâturin	4 790 000	2 173 000

En règle générale, on enfouit les semences de la plupart des fourrages à 6–12 mm (¼–½ po) de profondeur dans les sols argileux et loameux, et à 12–18 mm (½–¾ po) dans les sols sableux.

Le pourcentage de levée baisse rapidement si les semences fourragères sont enfouies à plus de 20 mm (¾ po) de profondeur. Les semences de légumineuses semées en surface peuvent s'établir si les conditions d'humidité sont idéales après le semis. Les semences déposées en surface ont plus de chances de s'établir avec les semis de mars et de début d'avril que ceux de la fin d'avril ou de mai.

Matériel de semis

Semoir à céréales

Pour semer des cultures fourragères, on obtient des résultats très satisfaisants en utilisant un semoir à céréales muni d'une trémie pour semences de graminées. On peut se servir d'une trémie standard à graminées pour semer les graines de légumineuses et les graines de graminées plus petites comme celles de la fléole et de l'alpiste roseau. Certains semoirs à céréales sont équipés d'une trémie supplémentaire conçue pour les graminées dont les graines plus grosses, comme celles du brome et du dactyle pelotonné, ne passent pas bien dans une trémie standard.

ÉTABLISSEMENT (SEMIS)

La plupart des semoirs sont équipés de tubes de descente montés sur la trémie à graminées. Aligner les tubes de descente de façon à ce que les semences tombent dans un rang, par-dessus le fertilisant épandu par le disque ouvreur. Les semences doivent tomber de 25–35 cm (10–14 po) derrière le disque ouvreur afin que celui-ci enterre la bande de fertilisant avant de déposer la semence. Cette façon de procéder évite d'enfouir les semences trop profondément.

Le fait de tasser le sol après avoir mis en terre les semences peut contribuer à une germination plus uniforme, surtout les printemps secs. Les roues plombeuses aident à recouvrir les semences fourragères et à affermir le sol autour d'elles.

Si on ne dispose pas de roues plombeuses, on peut obtenir des résultats très satisfaisants en tirant un rouleau ou des roues de recouvrement obliques en caoutchouc derrière le semoir pour affermir le sol. Ne pas utiliser de rouleau lorsque le sol est mouillé, surtout dans les loams argileux, où il y a des risques de formation d'une croûte.

Semoirs cultitasseurs

Les semoirs cultitasseurs, comme les Brillion, peuvent très bien servir à semer des fourrages et sont équipés de trémies pour les semences de petit et de gros calibre. Le premier rouleau affermit et nivelle le sol, et ouvre un sillon avant de laisser tomber les semences sur la surface. Le deuxième rouleau enterre les semences et affermit le sol autour d'elles. Ce type de semoir procure une excellente maîtrise de la profondeur de semis et affermit le lit de semence. Il n'épand pas l'engrais et, de ce fait, ne stimule pas le démarrage comme le font les semis avec épandage d'engrais en bandes réalisés par un semoir à céréales. C'est un désavantage, surtout lorsque les niveaux de phosphore dans le sol sont bas ou moyens.

Semoirs à la volée

Les semoirs à la volée servent aussi à semer des fourrages. Leur principal avantage est la vitesse. Il existe deux types de semoirs à la volée; les deux présentent des problèmes relatifs à la maîtrise de la profondeur de semis. Un tassage est nécessaire pour recouvrir les semences.

Les semoirs à disques rotatifs peuvent donner une répartition inégale, surtout par temps venteux ou lorsque les mélanges sont composés de semences légères et de semences lourdes. Cette méthode de semis produit généralement des peuplements inférieurs et n'est donc pas recommandée.

Les unités de distribution à air remédient aux problèmes liés au vent et à la ségrégation des semences tout en étant très rapides.

Semoirs pour semis direct

Ce système pour semer les fourrages permet de faire du bon travail, mais n'est pas efficace dans certaines situations. Pour éviter les échecs d'installation, il faut suivre les directives suivantes :

- Gérer adéquatement les résidus, la mise en place des semences et la lutte contre les mauvaises herbes.
- Éliminer les mauvaises herbes vivaces, notamment le chiendent, avant le semis.
- Ne pas semer à plus de 18 mm (¾ po) de profondeur dans les sols légers, ou de 12 mm (½ po) dans les loams argileux.
- Pour un maximum de résultats, faire les semis de printemps par semis direct dans les résidus de soya, de céréales et de maïs. Enlever la paille de la culture précédente pour améliorer la mise en place des semences.
- Détruire la prairie l'automne avant le semis de printemps de légumineuses. Éviter les pousses d'herbe de plus de 15 cm (6 po) au moment de la pulvérisation pour réduire les risques d'invasion d'insectes, de maladies et d'autotoxicité de la luzerne (voir la rubrique *Autotoxicité de la luzerne*, p. 173).
- Ne pas épandre de lisier.

Semis avec culture-abri

La majeure partie de la superficie consacrée aux cultures fourragères de l'Ontario est semée avec une culture-abri qui élimine les mauvaises herbes annuelles et procure une protection relativement rapide contre l'érosion sur les terrains accidentés. Le désavantage de la culture-abri est qu'elle fait concurrence aux fourrages pour l'humidité, la lumière et le fertilisant. S'il y a une carence en l'un de ces éléments, la culture fourragère en souffrira avant la culture de graminées.

Récolte de la culture-abri comme céréale

Ce système d'ensemencement fournit une récolte de céréales et une autre de paille pendant l'établissement de la culture fourragère. La concurrence exercée par la culture céréalière peut nuire à l'établissement et aux rendements subséquents de la culture fourragère. La verse de la culture-abri causée par un excès d'azote peut présenter une réelle menace pour l'établissement de la culture fourragère. Il faut considérer l'établissement de la culture fourragère comme l'objectif principal du semis et accorder une importance secondaire à la production de céréales et de paille.

F3

Directives recommandées :

- Généralement, on utilise l'avoine, l'orge et les céréales mélangées comme cultures-abri. Le blé de printemps et le triticale de printemps peuvent également servir de cultures-abri et sont habituellement moins en concurrence avec les semences fourragères. L'orge à six rangs est préférable à l'orge à deux rangs.
- En règle générale, il faut choisir le cultivar le plus hâtif et comportant la tige la plus courte et la plus forte d'une espèce si on veut réduire la concurrence au minimum.
- Réduire la taux de semis des céréales de printemps à 60–70 kg/ha.
- Réduire la dose d'engrais azoté ou de fumier pour minimiser les risques de produire une culture de céréales dense et sensible à la verse. Dans la plupart des conditions, ne pas épandre plus de 15 kg d'azote/ha sur les céréales de printemps.

Récolte de la culture-abri pour l'ensilage

Certains des problèmes liés aux semis de céréales servant de culture-abri peuvent être éliminés par la récolte de la culture de céréales pour l'ensilage. Faire correspondre le stade de la coupe aux besoins nutritionnels du bétail. Pour obtenir une qualité nutritive élevée, on doit récolter les céréales au stade de fin montaison. Retarder la récolte à l'épiaison complète augmente le rendement, mais réduit la qualité du fourrage.

Récolter la culture-abri pour l'ensilage permet d'éliminer les mauvaises herbes et de combattre l'érosion, mais la culture-abri doit être enlevée avant qu'elle ne commence à verser ou à livrer une concurrence excessive pour la lumière et l'humidité. Dans cette situation, on peut utiliser le taux de semis des céréales et la dose d'azote utilisés normalement pour augmenter le rendement de l'ensilage. Lorsque le sol demeure raisonnablement humide après la récolte, il y a de bonnes chances d'obtenir une coupe de fourrage à la fin d'août dans les zones d'au moins 2 600 unités thermiques de croissance.

Semis direct

Semer des fourrages sans culture-abri élimine les risques que peuvent représenter les cultures de graminées pour l'établissement. Bien gérés, les peuplements de fourrages semés directement sont souvent plus denses et plus uniformes. Cela est particulièrement vrai pour les espèces de fourrage, comme le lotier corniculé, la luzerne et l'alpiste roseau, qui ne tolèrent pas les zones très ombragées. Comme les cultures de céréales ne se font pas concurrence pour l'humidité du sol, les semis directs sont moins touchés par les périodes de sécheresse de juin et juillet.

Les semis directs faits au début du printemps peuvent donner une ou deux coupes de fourrage pendant l'année du semis, soit 50–60 % du rendement d'un peuplement installé. Les fourrages semés directement sont utiles lorsque la surface de fourrage à récolter doit être augmentée rapidement pour compenser une culture détruite par l'hiver ou combler des besoins accrus en fourrages.

En Ontario, le semis direct se pratique beaucoup :

- dans les loams ainsi que dans les loams limoneux et sableux;
- avec le lotier corniculé ou des mélanges à base de luzerne;
- dans les fermes laitières où l'azote dégagé du fumier provoque souvent la verse des céréales;
- lorsque d'autres cultures produisent les céréales et la paille nécessaires.

Les semis directs n'ont pas connu du succès sur toutes les fermes. La concurrence des mauvaises herbes est plus grande avec les semis directs qu'avec les sous-semis (voir la rubrique *Lutte contre les mauvaises herbes*, p. 189).

Pendant l'année du semis, les systèmes racinaires des cultures fourragères sont peu profonds et, par conséquent, plus vulnérables à la sécheresse que ceux des peuplements installés. Les périodes de sécheresse peuvent réduire la production à une coupe, au lieu de deux, mais ne diminuent généralement pas la densité de peuplement.

Les semis directs sur des sols argileux nécessitent plus de soins apportés à la préparation du lit de semence et aux semis. Les sols argileux, surtout lorsque le lit de semence est grumeleux, sont plus vulnérables à la sécheresse pendant la germination, ce qui réduit les chances d'établissement. Ils sont également plus vulnérables à l'encroûtement et aux problèmes de levée des semences si de fortes pluies suivent le semis.

Autotoxicité de la luzerne

Semer de la luzerne dans un ancien peuplement de luzerne est très risqué parce que les vieux peuplements de luzerne libèrent une toxine qui réduit la germination, le développement des racines et la croissance des nouvelles plantules de luzerne. C'est ce qu'on appelle l'autotoxicité de la luzerne. Les racines sont gonflées, sinueuses, décolorées et n'ont pas de poils absorbants. Ces effets négatifs sur la croissance des racines peuvent avoir des répercussions graves sur les rendements.

Tableau 5–6.
Doses d'azote recommandées sur les cultures fourragères vivaces

Culture	N nécessaire (kg/ha)
Semis de légumineuses ou d'un mélange légumineuse-céréale	
Sans culture-abri	0
Avec culture-abri	15
Pâturage non amélioré	50
Graminée de semence	90
Foin ou pâturage	
½ ou plus de légumineuses	0
De ⅓ à ½ de légumineuses	60
Graminées (moins de ⅓ de légumineuses)	(voir le tableau 5–7, ci-contre)

100 kg/ha = 90 lb/ac

Tableau 5–7.
Recommandations relatives aux apports d'azote pour pâturages ou prairies de fauche améliorés

Prix du foin		Coûts de l'engrais azoté			
		60 $/kg	70 $/kg	80 $/kg	90 $/kg
($/tonne)	Application[1]	N nécessaire[2] (kg/ha)			
30	1re	95	75	70	70
	2e	75	60	50	35
	3e	60	50	40	30
50	1re	130	125	115	105
	2e	105	100	90	80
	3e	85	80	70	65
70	1re	150	140	135	130
	2e	120	115	110	100
	3e	95	90	85	80

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] La première application doit être faite avant le 10 mai. La deuxième application doit être faite après la première coupe. La troisième application doit être faite après la deuxième coupe, mais seulement si l'on compte faire une troisième coupe.

[2] Pour les fourrages à entreposer : réduire la dose d'engrais selon le type et la dose de fumier épandu (voir la rubrique *Fumier*, p. 23). Pour les pâturages : réduire toutes les doses du tiers en raison de l'apport en urine et en fumier du bétail.

Il y a des problèmes de germination et d'établissement (densité de peuplement) lorsqu'on ne détruit pas le peuplement existant au moins deux à trois semaines avant de resemer. Il importe de savoir que les toxines demeurent présentes jusqu'à six mois, ce qui suffit à réduire de manière permanente les rendements d'un nouveau peuplement. Pour obtenir un rendement maximal, lorsque la luzerne a deux ans ou plus, il faut semer un autre type de culture et attendre un an avant de resemer de la luzerne.

Les toxines ne sont pas présentes la première année des nouveaux semis; les semis manqués ou détruits par l'hiver peuvent donc être ressemés sans risque de subir les effets de l'autotoxicité. Cela s'applique à un semis d'été ou de printemps, après l'échec d'un semis d'été.

L'ensemencement sous couvert n'est pas recommandé pour augmenter la densité d'un peuplement de luzerne établi, car les chances de succès sont très minces. Souvent les nouveaux semis germent, semblent bien aller au début, puis meurent au cours de l'été. Il est parfois préférable de semer du trèfle rouge dans les zones clairsemées.

Inoculation

Pour croître normalement, toutes les légumineuses doivent avoir des nodosités produisant de l'azote dans leur système racinaire. Ces nodosités sont produites par la bactérie *Rhizobium*.

Chacune des légumineuses (luzerne, trèfle, lotier corniculé) a besoin d'une souche de *Rhizobium* particulière pour produire une nodulation adéquate. Si une légumineuse est semée pour la première fois dans un champ, la semence doit être inoculée avec la bonne souche de bactérie *Rhizobium* avant le semis.

L'utilisation de semences préinoculées donne des résultats satisfaisants, à condition que l'inoculant soit appliqué pendant la saison en cours. Comme l'inoculant doit être vivant, il faut vérifier la date d'expiration et suivre les directives relatives à la manipulation indiquées sur l'emballage pour s'assurer d'une fixation adéquate de l'azote. Lorsqu'une légumineuse fourragère est semée régulièrement dans un champ comme culture comprise dans la rotation, ces bactéries sont habituellement présentes dans le sol et la nodulation devrait être bonne. Le coût de la bactérie *Rhizobium* est peu élevé comparativement à celui des semences. Si l'on n'est pas certain que la bactérie *Rhizobium* est présente dans le sol, il faut inoculer les semences.

Fertilisation

Azote

Les peuplements fourragers contenant plus de 50 % de légumineuses ne demandent pas de fertilisation azotée. Pour connaître les recommandations sur l'azote, voir ci-contre le tableau 5–6, *Doses d'azote recommandées sur les cultures fourragères vivaces*, et le tableau 5–7, *Recommandations relatives aux apports d'azote pour pâturages ou prairies de fauche améliorés*, ci-dessus.

Tableau 5–8.
Doses de phosphate recommandées pour les cultures fourragères, d'après les analyses de sol reconnues par le MAARO

Teneur en phosphore (ppm) évaluée au bicarbonate de sodium	Au semis avec ou sans culture-abri		Semis en bandes sans culture-abri[1]		Peuplements établis		Pâturages non améliorés	
	Cote	Phosphate (P_2O_5) à appliquer[2] (kg/ha)	Cote	Phosphate (P_2O_5) à appliquer[2] (kg/ha)	Cote	Phosphate (P_2O_5) à appliquer[2] (kg/ha)	Cote	Phosphate (P_2O_5) à appliquer[2] (kg/ha)
0–3		130		130		180		70
4–5	BASSE	110	BASSE	110	BASSE	120	BASSE	60
6–7		90		90		90		50
8–9		70		70		60		30
10–12		50		50		30		20
13–15	MOYENNE	30	MOYENNE	40	MOYENNE	20	MOYENNE	20
16–20		20		30		0		0
21–25		20		20	HAUTE	0	HAUTE	0
26–30	HAUTE	0		20		0		0
31–40		0	HAUTE	20		0		0
41–50	TRÈS HAUTE	0		20	TRÈS HAUTE	0	TRÈS HAUTE	0
51–60		0	TRÈS HAUTE	0		0		0
61+	EXCESSIVE[3]	0	EXCESSIVE[3]	0	EXCESSIVE[3]	0	EXCESSIVE[3]	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Le semis doit être fait en bandes directement au-dessus de l'engrais enfoui.

[2] Si on épand du fumier, il faut réduire la dose d'engrais en fonction de la quantité et du type de fumier utilisé (voir la rubrique *Fumier*, p. 23).

[3] Des teneurs excessives peuvent entraîner une chute du rendement, altérer l'équilibre des éléments nutritifs de l'aliment et accroître le risque de pollution de l'eau.

Les peuplements de graminées contenant moins d'un tiers de légumineuses exigent de grandes quantités d'azote pour donner un rendement optimal. Si les conditions le permettent, il est généralement plus rentable de resemer un mélange contenant des légumineuses. Il peut cependant être profitable d'apporter de l'azote à des peuplements de graminées composés d'espèces productives comme le brome, le dactyle pelotonné ou la fléole. On augmente en même temps la teneur en protéines du fourrage. La dose recommandée pour les graminées dépend du rapport entre le prix de l'azote et celui du foin (voir le tableau 5–7, p. 174). On devrait faire la première application aussitôt que possible au printemps, et en faire une deuxième après la deuxième et la troisième coupes. Pour éviter les risques de toxicité par les nitrates, il ne faut jamais épandre plus de 170 kg d'azote/ha à la fois.

Les signes de carence en azote dans les fourrages sont le jaunissement généralisé et le rabougrissement des plants. Ils peuvent apparaître d'abord sur les parties basses des plants. Chez les légumineuses, les signes de carence en azote sont une faible nodulation et/ou un faible niveau de pH dans le sol.

Phosphate et potasse

Les doses recommandées de phosphate et de potasse sont indiquées au tableau 5–8, *Doses de phosphate recommandées pour les cultures fourragères, d'après les analyses de sol reconnues par le MAARO*, ci-dessus, et au tableau 5–9, *Doses de potasse recommandées pour les cultures fourragères, d'après les analyses de sol reconnues par le MAARO*, p. 176. Si l'on ne dispose pas des résultats d'une analyse de sol reconnue par le MAARO, ou pour apprendre à utiliser ces tableaux, se référer à la rubrique *Recommandations d'engrais*, p. 36.

En cas de semis direct sur un sol nécessitant un apport de phosphate, l'établissement de la culture peut être amélioré par la mise en place d'un engrais riche en cet

Tableau 5–9.
Doses de potasse recommandées pour les cultures fourragères, d'après les analyses de sol reconnues par le MAARO

Teneur en potassium (ppm) évaluée à l'acétate d'ammonium	Au semis avec ou sans culture-abri		Applications d'automne sur nouveaux semis et peuplements établis	
	Cote	Potasse (K_2O) à appliquer[1] (kg/ha)	Cote	Potasse (K_2O) à appliquer[1] (kg/ha)
0–15	BASSE	90	BASSE	480
16–30		80		400
31–45		70		320
46–60		50		270
61–80		40		200
81–100		30		130
101–120	MOYENNE	20	MOYENNE	70
121–150		20		20
151–180	HAUTE	0	HAUTE	0
181–250	TRÈS HAUTE	0	TRÈS HAUTE	0
251+	EXCESSIVE[2]	0	EXCESSIVE[2]	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Si l'on épand du fumier, il faut réduire la dose d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité de fumier utilisé (voir la rubrique *Fumier*, p. 23).

[2] Des teneurs « excessives » peuvent entrainer une baisse du rendement ou de la qualité des cultures à cause de la carence en magnésium qui s'ensuit. Des concentrations supérieures à 251 ppm se trouvent parfois dans les sols argileux et les loams argileux, mais ne devraient pas causer de problèmes puisque les sols normalement riches en potassium sont en général riches en magnésium.

élément, à 5 cm sous la semence. On utilise pour cela un semoir à céréales muni d'une trémie pour engrais et d'une autre pour semences de graminées. L'engrais est déposé par les disques ouvreurs et les semences fourragères sont déposées sur un sol bien ferme, juste en arrière des disques ouvreurs. Habituellement, on conseille de tasser la surface du sol immédiatement après le semis.

La potasse peut améliorer davantage la longévité des fourrages si elle est apportée dans les six semaines précédant le début de la période de repos d'automne. On rencontre parfois des carences en potasse dans la luzerne. Celles-ci se manifestent par l'apparition de petits points pâles sur les folioles. Ces points peuvent se trouver un peu partout sur le foliole, mais se concentrent habituellement près des pourtours (voir planche 87, p. 337). Les graminées et les trèfles ont moins de risques de présenter des symptômes de carence en potasse. Le phosphate, si nécessaire, peut être appliqué en même temps que la potasse ou à un autre moment de l'année. Il y a très peu de symptômes de carence en phosphate et ils ne sont pas propres aux fourrages, mais une carence en phosphate peut se manifester par un rabougrissement et une faible survie à l'hiver des légumineuses.

Analyse de tissus végétaux

Pour l'analyse des légumineuses fourragères, échantillonner chaque espèce séparément. On recommande de prendre une plante coupée à la hauteur de coupe normale, à la fin du stade du bouton. Consulter le tableau 5–10, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour la luzerne*, p. 177. Cependant, les plants soupçonnés de carence en éléments nutritifs doivent être échantillonnés dès que le problème apparaît. Pour l'échantillonnage fait à d'autres moments que l'épiaison et sur d'autres espèces que la luzerne, un échantillon doit être prélevé à la fois dans les zones déficientes et dans les zones saines du champ à des fins de comparaison. Un échantillon du sol doit être prélevé au même endroit et au même moment que l'échantillon de tissu végétal.

Oligo-éléments

Bore

Le bore est important pour la luzerne. Cependant, il n'est pas nécessaire d'en épandre sur tous les sols. La carence en bore apparaît surtout dans les sols sableux à pH élevé. On recommande d'épandre du bore sur tous les sols sableux, en particulier sur les loams et les

Tableau 5–10.
Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour la luzerne

Élément fertilisant	Unité	Concentration critique[1]	Concentration normale maximale[2]
Azote (N)	%	–	5,5
Phosphore (P)	%	0,20	0,5
Potassium (K)	%	1,70	3,5
Calcium (Ca)	%	–	4,0
Magnésium (Mg)	%	0,20	1,0
Soufre (S)	%	0,22	–
Bore (B)	ppm	20,0	90,0
Cuivre (Cu)	ppm	5,0	30,0
Manganèse (Mn)	ppm	20,0	100,0
Molybdène (Mo)	ppm	0.5	5,0
Zinc (Zn)	ppm	10,0	70,0

Ces valeurs se rapportent à un plant fauché à une hauteur de coupe normale à la fin du stade du bouton.

[1] Il faut prévoir une baisse de rendement due à une carence en un élément nutritif lorsque la concentration de l'élément nutritif tombe au niveau critique ou sous celui-ci.

[2] Les concentrations normales maximales sont plus que suffisantes, mais ne causent pas nécessairement de toxicité.

loams sableux de la région située à l'est de l'escarpement du Niagara jusqu'au comté de Frontenac inclusivement. La carence en bore est plus fréquente dans les sols se ressuyant rapidement dans des conditions sèches.

Dans le cas de la luzerne, toute carence en bore commence par affaiblir la floraison et réduire la mise à graine. À mesure que la carence s'accentue, les jeunes feuilles du haut commencent à jaunir ou à rougir sur différents plants (voir planche 88, p. 337). La croissance de la luzerne peut être grandement touchée, tout comme sa rusticité.

On peut corriger la carence en bore, ou encore la prévenir, par un épandage annuel de pleine surface de 1 à 2 kg de bore/ha. Ne pas épandre le bore en bandes au semis.

Il ne faut pas employer de mélanges engrais-herbicides en traitements foliaires à moins que ce ne soit recommandé par des autorités compétentes. Pour plus de renseignements sur la carence en bore et sur les modes d'épandage, voir la fiche technique du MAAARO, *Fertilisation boratée de la luzerne*, commande n° 97-100, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/products/field.html#fourrages.

Soufre

Rares sont les régions de l'Ontario où l'on a déjà observé une carence en soufre dans les cultures fourragères. Le soufre contenu dans les précipitations acides du nord-est et du sud de l'Ontario suffit aux besoins des cultures. La luzerne présente parfois une carence en soufre dans le nord-ouest de l'Ontario, dans les sols sableux contenant peu de matières organiques. Les signes de carence en soufre sont semblables à ceux d'une carence en azote, soit un jaunissement général des plants.

Autres oligo-éléments

On n'a pas observé de carences en cuivre, en zinc ou en manganèse dans les cultures fourragères en Ontario.

Fumier

Le fumier est une excellente source d'éléments fertilisants et peut remplacer les engrais chimiques. C'est une excellente source d'azote pour les graminées; cependant, les légumineuses fourragères utilisent peu efficacement l'azote du fumier. Ne pas épandre de fumier sur les légumineuses fourragères vivaces lorsqu'il y a de la neige au sol; la glace qui se forme souvent en dessous du fumier risquerait de détruire les plants (voir la rubrique *Fumier*, p. 23).

Chaulage

Les légumineuses ne tolèrent généralement pas les sols acides. Les sols acides doivent être chaulés au cours de l'année qui précède le semis, aux doses recommandées par les rapports d'analyses de sol (voir la rubrique *Acidité du sol et chaulage*, p. 36). L'application de chaux sur des peuplements établis n'est généralement pas rentable.

Récolte et entreposage

Qualité du fourrage

Le type de bétail détermine la qualité voulue de fourrage. Celle-ci doit correspondre aux besoins nutritionnels de l'animal. Pour un troupeau de vaches laitières très productives, il faut produire un fourrage de qualité, c.-à-d. à fortes teneurs en énergie et en protéines digestibles. L'analyse repère pour la luzerne destinée à des vaches laitières très productives donne 20 % de protéines brutes (PB), 30 % de fibres au détergent acide (FDA) et 40 % de fibres au détergent neutre (FDN). Pour les bovins de boucherie, le foin le plus approprié

est plus mature et d'un rendement plus élevé et, par conséquent, a une teneur en protéines et une digestibilité plus faibles. Bon nombre de propriétaires de chevaux d'équitation préfèrent le foin à maturité plus avancé qui renferme davantage de graminées que n'en contient normalement le foin destiné aux vaches laitières, mais il doit absolument être exempt de moisissures et de poussières. Certains marchés exigent aussi que le foin ait une couleur verte et ne contienne aucune mauvaise herbe. Pour la suite de cette section, le terme « qualité élevée » désignera une teneur élevée en protéines et en énergie digestibles.

Les analyses en laboratoire sur les fourrages sont essentielles pour établir une ration alimentaire précise. La teneur en éléments nutritifs des fourrages varie considérablement selon le type de fourrage, le degré de maturité à la coupe et la capacité de préservation.

Terminologie de la nutrition du bétail

À la distribution

Expression de la valeur nutritive comprenant l'humidité. La valeur nutritive des aliments analysés « à la distribution » est toujours plus faible que ceux qui sont analysés sur une base « matière sèche ».

Matière sèche

Expression de la valeur nutritive d'un aliment après évaporation forcée de toute l'eau qu'il renferme. Sert à comparer la valeur nutritive d'aliments ayant des teneurs en eau différentes et à évaluer la valeur nutritive des aliments ingérés par les animaux.

Protéines brutes (PB)

Évaluation de la quantité totale de protéines contenues dans l'aliment; on l'obtient en multipliant par 6,25 la teneur en azote de l'aliment. Les protéines brutes comprennent les protéines vraies et d'autres substances renfermant de l'azote, comme l'ammoniac, les acides aminés et les nitrates.

Fibre au détergent acide (FDA)

Fraction surtout lignocellulosique obtenue par ébullition en milieu acide d'un échantillon d'aliment dans une solution au détergent. Le résultat de la FDA sert à déterminer la valeur énergétique (UNT, ÉN) des fourrages.

Fibre au détergent neutre (FDN)

Fraction insoluble renfermant toutes les parois cellulaires végétales qui restent après qu'un échantillon d'aliment a bouilli dans une solution au détergent neutre (principalement hémicellulose, cellulose et lignine). Le résultat permet de prévoir la quantité d'aliments que peut ingérer un ruminant.

Valeur alimentaire relative (VAR)

La valeur alimentaire relative est calculée au moyen de la FDN et de la FDA. La valeur alimentaire relative des graminées est habituellement plus faible que celle des fourrages de légumineuses en raison de la teneur élevée en fibres. C'est pourquoi la comparaison de la valeur alimentaire relative entre différentes espèces est discutable.

Énergie nette (ÉN)

Quantité d'énergie réellement disponible pour couvrir les besoins en entretien et en production de l'animal; elle représente l'énergie brute contenue dans un aliment moins l'énergie perdue dans les fèces, l'urine, les gaz et les pertes de chaleur.

Unités nutritives totales (UNT)

Terme décrivant la valeur énergétique d'un aliment en se basant sur des équations de régression.

Azote insoluble au détergent acide (ADF-N)

Test de laboratoire servant à mesurer la quantité de protéines détruites par la chaleur dans le foin et l'ensilage préfané.

Digestibilité in vitro

Mesure où un échantillon de fourrage est incubé dans le jus de rumen pendant une certaine période pour simuler la digestibilité dans un rumen.

Digestibilité des fibres (dNDF)

Digestibilité des fibres déterminée par la digestibilité des FDN in vitro. Cette mesure influe sur l'énergie digestible du fourrage et la prise alimentaire.

Profil de fermentation

Analyse du profil de fermentation offerte pour l'ensilage afin de déterminer les quantités relatives d'acides lactique, acétique, butyrique et propionique et le pH.

Mesure de l'énergie digestible de l'ensilage du maïs

L'ensilage de maïs a la particularité d'allier deux composants très différents : les grains très humides et

Tableau 5–11.
Digestibilité et teneur en protéines de la luzerne et du brome à divers stades de maturité

Stade de maturité	Date	Digestibilité (%)		Teneur en protéines brutes (%)	
		Luzerne	Brome	Luzerne	Brome
Bouton moyen	4 juin	72,6	73,8	21,5	13,4
Début de floraison (sortie des épis)	20 juin	65,2	67,2	17,0	10,0
Floraison complète	30 juin	62,1	60,6	16,2	6,7
Premières graines	6 juill.	60,9	59,7	15,6	5,8

les épis débarrassés des grains. Une énergie digestible élevée est importante pour réduire le besoin en supplément de céréales. Une teneur en FDN faible et une valeur de dNDF plus élevée sont importantes pour une prise alimentaire et une énergie accrues.

L'énergie digestible de l'ensilage de maïs se détermine principalement par les quantités relatives d'amidon et de fibres (FDN) et leur digestibilité. On utilise parfois la FDA pour estimer l'énergie et la FDN pour analyser la prise alimentaire, mais ces mesures ne tiennent pas compte de la digestibilité. De nouvelles méthodes estiment avec plus de précision l'énergie digestible de l'ensilage de maïs à partir des PB, des lipides, des glucides non structurels (GNS), des FDN et de la lignine. D'autres méthodes emploient aussi l'amidon et la digestibilité des FDN in vitro (dNDF). La texture, la teneur en eau et le traitement des grains influent sur la digestibilité de l'amidon.

Période de récolte du fourrage

La période de récolte est le facteur le plus important pour la production d'un fourrage de qualité. La valeur nutritive des cultures fourragères baisse au fur et à mesure qu'elles arrivent à maturité. Par exemple, après le stade du bouton de la luzerne, la valeur nutritive baisse d'environ 0,2 % par jour pour ce qui est des protéines et d'environ 0,4 % par jour pour ce qui est de la digestibilité (voir le tableau 5–11, *Digestibilité et teneur en protéines de la luzerne et du brome à divers stades de maturité*, ci-dessus). Le moindre retard dans la coupe du fourrage diminue grandement sa qualité. Bien sûr, le fait d'avoir à attendre une période de temps sec complique davantage les choses.

> En règle générale, le fourrage de grande qualité de première coupe devrait être coupé à partir du milieu jusqu'à la fin du stade du bouton.

La période de récolte dépend des besoins nutritionnels du bétail.

La coupe effectuée avant le stade du bouton et au début du stade de bouton réduit les rendements et peut augmenter les risques de perdre le peuplement. Des teneurs en fibres extrêmement basses peuvent entrainer des problèmes nutritionnels. Pour ce qui est des graminées, un compromis entre le rendement et la qualité se fait « au stade où l'épi est tout juste sorti ». Le dactyle pelotonné atteint la maturité bien avant la fléole et le brome. Retarder la récolte du fourrage augmente le rendement et la rusticité, mais réduit la qualité du fourrage. Pour les grandes surfaces de fourrage, il est conseillé de commencer la coupe plus tôt pour s'assurer que la matière coupée en dernier est de bonne qualité.

La deuxième et la troisième coupes de luzerne peuvent se faire à intervalles d'environ 30 jours (milieu du stade du bouton) à 40 jours (début de floraison) ou plus, selon que l'on veut une qualité élevée ou une rusticité et un rendement optimaux (voir la rubrique *Destruction des fourrages par l'hiver*, p. 201).

Prévoir la qualité de la luzerne dans une culture sur pied

Parmi les méthodes utilisées pour déterminer quand il faut commencer la première coupe de luzerne, il y a la date du calendrier, le stade de croissance (milieu et fin du stade du bouton), les degrés-jour de croissance (voir la rubrique *Degrés-jours*, p. 4), la coupe aux ciseaux, et les équations prédictives de la qualité de la luzerne (ÉPQL). La méthode des ÉPQL se sert de la tige la plus longue et de la tige dont la maturité est le plus avancée pour estimer la teneur en FDN de la luzerne dans une culture sur pied.

Beaucoup de décisions en matière de coupe sont prises en utilisant la teneur en FDN comme principale variable de qualité. Pour les vaches laitières très productives, la teneur en FDN optimale de la luzerne pour la prise alimentaire et la fibre alimentaire est d'environ 40 %. Lorsque le temps est doux, la teneur en FDN peut augmenter d'environ 0,7 unité par jour, ce qui entraine une diminution rapide de la qualité. D'une année à l'autre, la teneur en FDN peut varier jusqu'à 10 % à la même date de coupe. La relation entre le stade phénologique, tel que le début ou la fin du stade du bouton, et la teneur en FDN n'est toujours très grande.

Les estimations de FDN par la méthode des ÉPQL sont inscrites sur une baguette à mesurer facile à lire et utilisable dans le champ. Cet outil sert à prendre les décisions relatives à la coupe, mais ne vise pas à remplacer l'analyse des fourrages et l'équilibrage des

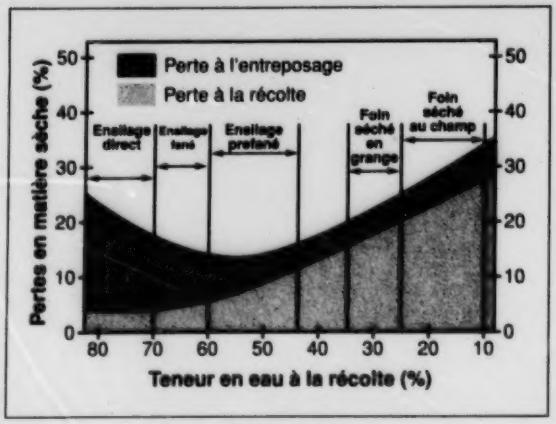


Figure 5–2.
Estimation des pertes de foin et d'ensilage préfané à la récolte et à l'entreposage

Adapté de Hoglund, 1964.

rations. Pour savoir comment utiliser le système des ÉPQL, voir le bulletin portant sur les équations prédictives de la qualité de la luzerne, *Predicting Alfalfa Quality Using PEAQ*, diffusé en anglais sur le site Web du MAAARO, à l'adresse www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crops/facts/info_ndf.htm.

Foin sec

On peut conserver un maximum de valeur nutritive lorsque les pertes au champ et à l'entreposage sont réduites au minimum. L'importance de chacune de ces pertes est déterminée en grande partie par la teneur en eau du fourrage lorsqu'il est entreposé. L'entreposage de foin sec s'accompagne de pertes élevées au champ, mais de pertes relativement faibles à l'entreposage. Par contre, l'entreposage de fourrages pour l'ensilage préfané s'accompagne de pertes réduites au champ, mais de pertes à l'entreposage plus élevées (voir la figure 5–2, *Estimation des pertes de foin et d'ensilage préfané à la récolte et à l'entreposage*, ci-dessus).

Coupe et conditionnement

Les faucheuses à disques sont plus fiables que les faucheuses à barre de coupe lorsque le fourrage est versé ou dans des peuplements très denses. Les faucheuses à disques peuvent faire le travail plus rapidement, mais peuvent coûter plus cher.

Les conditionneurs de fourrage broient, crèpent ou battent les tiges et en accélèrent ainsi le séchage. Un séchage plus rapide réduit les risques d'exposition à la pluie et synchronise le séchage des feuilles et des tiges, ce qui diminue l'effritement des feuilles. Généralement, les graminées sèchent plus rapidement que les légumineuses.

Les andains doivent être le plus larges possible pour réduire la densité du fourrage et augmenter la surface d'évaporation.

Pertes à la récolte

Plusieurs pertes sont associées à la production de foin sec (moins de 20 % d'humidité). Comme les feuilles contiennent environ la moitié de la matière sèche et les deux tiers des protéines, la perte de feuilles influe grandement sur la qualité et le rendement.

Respiration

Même après la coupe, les fourrages continuent de respirer et de consommer des sucres jusqu'à ce que la teneur en eau baisse à moins de 40 %. Lorsque les conditions permettent un séchage relativement rapide, ces pertes peuvent être réduites au minimum : 2–8 % de la matière sèche totale. Dans le cas contraire (température basse, humidité élevée, etc.), les plants prennent plus de temps à atteindre une teneur en eau de 40 %, et on a déjà vu des pertes de matière sèche aussi élevées que 16 %.

Altération sur pied

La pluie sur du foin andainé empêche la respiration et cause d'autres pertes. Les nutriments comme les sucres simples sont lessivés à partir des feuilles et les pertes foliaires augmentent, ce qui diminue la digestibilité. Comme les feuilles perdent les sucres qu'elles contiennent, la dilution est moins grande et le pourcentage de protéines augmente. Cependant, la quantité de protéines produites par acre est réduite, ainsi que leur digestibilité. L'altération sur pied diminue également la prise alimentaire.

Pertes mécaniques

Au fur et à mesure que le fourrage sèche, les feuilles et les petites tiges deviennent plus fragiles. Toute opération mécanique, comme l'andainage et le fanage, faite sur une matière contenant moins de 40 % d'eau, entraîne des pertes de feuilles. Plus la teneur en eau est basse, plus les pertes sont grandes. Andainer lorsque le foin est humide. L'andainage réalisé lorsque le foin est humide le matin, alors qu'il y a encore de la rosée sur le foin réduit les pertes de feuilles. Les faneuses sont plus souvent utilisées pour les prairies de fauche. Les pertes lors du ramassage par la presse à fourrage et dans la chambre de mise en balles peuvent être réduites en andainant à une teneur en eau plus élevée et en avançant à la vitesse maximale.

Pertes potentielles à la fenaison

Les pertes à la fenaison qui ont été enregistrées dans le cadre de recherches sont résumées au tableau 5–12, *Pertes potentielles à la fenaison*, p. 181.

Tableau 5–12.
Pertes potentielles à la fenaison

Source de perte	Pertes en matière sèche (%)
Respiration	2–16
Coupe et conditionnement	2–5
Andainage	5–25
Mise en petites balles	3–8
Mise en grosses balles	1–15
Transport	1–10
Pertes potentielles totales	10–71

Tableau 5–13.
Guide des teneurs en eau à l'entreposage

Type de balles	Teneur en eau à l'entreposage (%)
Petites balles rectangulaires	15–18
Grosses balles rondes — centre moins dense	13–16
Grosses balles rondes — centre plus dense	12–15
Grosses balles rectangulaires	12–15

Source : Clarke and Stone, MAARO, 1993.

Pertes à l'entreposage

Le foin qui est suffisamment sec et qui est entreposé sous un couvert protecteur subit normalement un minimum de pertes à l'entreposage. On attribue généralement ces pertes à la manipulation des balles pendant leur déplacement.

Le foin très humide présente des risques d'altération causée par l'action des microorganismes qui métabolisent les sucres et dégagent de la chaleur. La température finale du foin dépend :

- de la teneur en eau du foin;
- de la densité des balles et de l'empilage plus ou moins serré des balles dans la grange;
- de la température et de l'humidité de l'air ambiant.

Le tableau 5–13, *Guide des teneurs en eau à l'entreposage*, ci-contre, donne une indication des teneurs en eau à respecter pour l'entreposage de différents types de balles.

Si on entrepose les balles à l'intérieur ou si on recouvre les grosses balles, les pertes dues à l'altération sont considérablement réduites. Dans une balle ronde de 1,5 m (5 pi) de diamètre, 19 % du foin se trouve dans la couche externe de 15 cm (6 po) et 36 %, dans la couche externe de 30 cm (12 po). L'entreposage à l'extérieur doit se faire dans un emplacement bien drainé. Voir la fiche technique du MAARO, *Entreposage des grosses balles rondes*, commande n° 89-015, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/engineer/facts/89-015.htm.

Échauffement du foin

L'ignition du foin humide à la suite de l'échauffement est communément appelée combustion spontanée. La combustion spontanée a lieu lorsque qu'il y a suffisamment d'humidité, d'oxygène et de matière organique pour permettre la croissance de bactéries et de moisissures. Cette réaction peut être autonome. Les gaz produits s'enflamment lorsqu'ils atteignent une température suffisamment élevée. Il faut prendre soin de vérifier si le foin est assez sec pour être mis en balles ou entreposé. La combustion spontanée du foin a lieu habituellement pendant les deux premiers mois de l'entreposage.

Habituellement, une des premières indications d'échauffement du foin est une odeur de tabac à pipe, et parfois de la vapeur s'échappant de la grange. Il faut surveiller la température dans la grange en plongeant une sonde pointue, faite avec un tube de cuivre, dans le foin et en y insérant ensuite un thermomètre à confiserie attaché à une corde. Il ne faut jamais prendre la température sans être accompagné de quelqu'un, car il y a risque de tomber dans les poches de feu qui peuvent se développer.

On peut suivre le guide de températures suivant :

- 65 °C — Début de la zone dangereuse. Prendre la température chaque jour.
- 70 °C — **Danger!** Inspecter toutes les 4 heures si la température monte.
- 80 °C — Il y a probablement des poches de feu. **Appeler le service des incendies.**
- 100 °C — **Critique!** En présence d'oxygène, la combustion aura lieu.

Si on ne dispose pas de thermomètre, on peut plonger une tige de fer ou de cuivre profondément dans le foin pendant une heure pour avoir une idée de la température du foin. Si la tige, une fois retirée, est presque trop chaude pour être tenue à mains nues, il y a un problème.

Voir la fiche technique du MAARO, *Incendies de silo ou de grange à foin sur votre ferme*, commande n° 93-027a, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/index.html.

Additifs pour foin

Souvent, les conditions météorologiques en Ontario ne permettent pas toujours de faire sécher facilement le foin au champ. Par contre, il est possible de se procurer des dessicants et des agents de conservation pouvant aider à réduire les pertes de matière sèche dues au séchage du foin. En fait, ces produits permettent la mise en balles à une teneur en eau supérieure ou augmentent la vitesse de séchage.

Agents de conservation du foin

Comme la quantité d'agent de conservation dépend de la teneur en eau du foin au moment de la mise en balles, il est crucial de mesurer la teneur en eau avec précision. En fait, il s'agit probablement du talon d'Achille de la conservation du foin, car les doseurs d'humidité peuvent ne pas être suffisamment précis pour permettre de régler convenablement la dose d'agent de conservation requise. Même si on utilise une méthode précise telle que le séchage au four d'un échantillon, il peut y avoir une différence d'humidité aussi grande que 10 à 15 % à l'intérieur d'un même andain. Cette variation peut entraîner la formation de poches de matière humide qui ne reçoivent par conséquent pas un traitement adéquat. Pour calculer la fourchette de teneurs en eau, il faut faire quelques balles de foin et prélever des échantillons de celles-ci plutôt que de l'andain.

Il y a une différence entre la teneur en eau moyenne et la teneur en eau maximale. Quand on lit l'étiquette du produit, on doit prêter attention à la mesure à laquelle on fait référence. Régler la dose d'agent de conservation en fonction de la teneur en eau maximale plutôt qu'en fonction de la teneur en eau moyenne.

Les agents de conservation sur le marché se répartissent en trois catégories :

1. Acides organiques

Les mélanges d'acide propionique et d'autres acides organiques, quand ils sont employés aux bonnes concentrations, permettent la mise en balles du foin à des teneurs en eau plus élevées, sans que le foin risque de chauffer. Ces mélanges tamponnés ont un pH d'environ 6,0; ils ne font pas décaper la peinture et n'irritent pas la peau et les yeux comme le faisaient les produits d'autrefois. Il faut vérifier les concentrations et respecter les doses précisées sur l'étiquette.

On obtient de bons résultats si on utilise les produits à base d'acide propionique de la façon suivante :

- utiliser la quantité appropriée, déterminée selon la teneur en eau du foin;
- calculer la dose en fonction de la densité des balles et de l'exactitude des résultats des doseurs d'humidité;
- ne pas mettre des balles traitées et non traitées dans une même grange, car l'humidité des balles traitées pourrait toucher les balles non traitées et causer des pertes.

2. Ammoniac anhydre

On entend par ammoniac anhydre un agent de conservation qui permet d'accroître la teneur en protéines brutes et la digestibilité du foin de mauvaise qualité. La dose recommandée est de 1 % du poids du foin sec, la teneur en eau du foin ne devant pas dépasser 30 %. De plus, le foin doit être couvert d'un plastique de manière à retenir l'ammoniac; autrement, l'effet de conservation ne sera que temporaire.

L'ammoniac anhydre n'est pas un agent de conservation aussi efficace que les acides organiques et ne devrait pas être appliqué à du foin de haute qualité. **En effet, son utilisation sur du foin de grande qualité a déjà entraîné la maladie de la vache folle : les animaux touchés percutent violemment des obstacles, ont des convulsions et, parfois, meurent.** On ne doit pas donner de foin de grande qualité traité à l'ammoniac aux animaux qui ont des besoins nutritionnels importants, telles les vaches en lactation.

3. Inoculants bactériens

Il existe peu de preuves que les inoculants pour le foin contenant diverses espèces de bactéries permettent d'empêcher l'échauffement des balles de foin et, par conséquent, de produire des balles plus vertes et contenant moins de poussière. Demander aux représentants des fabricants de fournir des résultats de recherches indépendantes afin d'étayer leurs propos. Il est important que l'étiquette précise que le produit s'emploie sur la culture que l'on veut traiter. Quand on utilise ces produits, on doit prêter une grande attention aux teneurs en eau maximales recommandées.

Les inoculants pour ensilage qui contiennent des espèces appartenant au genre *Lactobacillus* ne sont pas efficaces sur le foin sec, car le foin n'est pas suffisamment humide pour favoriser la croissance des lactobacilles. De plus, ils ne fonctionnent pas très bien en présence d'oxygène.

Dessicants

Des dessicants tels que les carbonates de sodium et de potassium sont appliqués au moment de la coupe et peuvent accélérer le séchage d'une journée entière si les conditions sont idéales. En effet, ces produits

chimiques brisent la couche cireuse de la tige, ce qui, lorsque les conditions de séchage sont bonnes, accroît la vitesse à laquelle l'humidité quitte les plants. Pour obtenir de bons résultats, observer les règles suivantes :

- appliquer les produits aux peuplements qui contiennent en majorité des légumineuses, car ils ne sont pas efficaces sur les graminées;
- utiliser un minimum de 334 L d'eau/ha pour couvrir amplement le fourrage coupé;
- rassembler la récolte en andains larges, afin d'exposer le plus de foin possible au soleil et aux vents asséchants.

Même avec des dessicants, le processus de séchage dépend des conditions météorologiques. Il faut de fait que la température soit élevée et l'humidité, faible. Les dessicants sont donc moins efficaces sur les premières coupes que sur les suivantes. De plus, les andains traités ne perdent pas leur humidité due à la pluie aussi rapidement que les andains non traités et sont plus vulnérables aux dommages causés par la pluie.

Séchoirs à foin en grange

L'installation des systèmes de séchage du foin en grange s'inscrit dans la production de foin de qualité. Un système de séchage du foin bien géré réduit la durée du préfanage au champ et donc le risque de détérioration par la pluie; il limite aussi la chute des feuilles et élimine le danger d'incendie déclenché par la combustion spontanée (voir la rubrique *Échauffement du foin*, p. 181). Le séchoir à foin en grange est constitué d'un ventilateur et de conduites de distribution d'air qui forcent l'air extérieur à se déplacer au travers du foin préfané qui a été entreposé dans la grange. En traversant la masse du foin, l'air élimine la chaleur et l'excès d'humidité et finit le processus de fanage qui a débuté au champ.

Foin pour chevaux

Les paramètres de qualité concernant le foin pour chevaux sont différents de ceux du foin pour le bétail et les moutons. Bon nombre de propriétaires de chevaux jugent la qualité du foin principalement en fonction de l'absence de moisissure, de poussière et de mauvaises herbes, ainsi qu'à sa couleur. Le foin qui n'était pas suffisamment sec au moment de la mise en balles moisit et devient poussiéreux, ce qui entraîne des problèmes respiratoires chez les chevaux. Le foin destiné aux chevaux ne doit pas avoir été exposé à la pluie. Nombre de chevaux n'ont pas besoin de foin riche en protéines. Un mélange fléole-luzerne est courant. Souvent, le foin pour chevaux peut être récolté plus tard dans la saison de fenaison, quand le degré de maturité du foin est plus avancé. On peut ainsi mieux étaler la fenaison et on risque moins d'exposer le foin à la pluie. Il s'ensuit un rendement accru en matière sèche, au prix toutefois d'un foin plus pauvre en protéines et en énergie.

Le foin pour chevaux en petites balles rectangulaires est assez en demande, car la plupart des propriétaires de chevaux ne disposent pas de l'équipement nécessaire à la manutention de grosses balles. Voir la fiche technique du MAAARO, *Les chevaux — Fourrages*, disponible sur le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/livestock/horses/forages.html.

Ensilage préfané et ensilage de maïs

L'entreposage du fourrage sous forme d'ensilage ou d'ensilage préfané plutôt qu'en balles présente divers avantages, notamment :

- de moins grandes pertes de récolte;
- des coûts de main-d'œuvre inférieurs (en raison de la mécanisation de toutes les opérations);
- une réduction de la dépendance aux bonnes conditions de séchage, ce qui permet de faucher la récolte à la maturité désirée.

L'ensilage du maïs se pratique beaucoup, du fait que cet aliment est sapide, a une forte teneur en énergie et peut être récolté en une seule fois.

Types d'entreposage des ensilages

Voici les types d'entreposage les plus courants pour les ensilages :

- silo vertical (silo tour);
- traditionnel (ouvert);
- hermétique (limitant l'oxygène);
- silo horizontal;
- silo-couloir;
- silo-meule;
- silo-boudin;
- grosses balles d'ensilage préfané.

Moment de la récolte de l'ensilage de maïs

Pour obtenir de l'ensilage de maïs de qualité, il faut le récolter à la bonne teneur en eau. En fait, c'est lorsque le maïs plante entière renferme entre 65 et 70 % d'humidité que l'on obtient la meilleure fermentation de l'ensilage et le rendement optimal de l'élevage. Cette teneur convient aux silos horizontaux et aux silos-boudins. Dans le cas des silos verticaux, l'ensilage doit être un peu plus sec si l'on veut prévenir le suintement. Consulter les teneurs en eau recommandées ci-dessous.

Ligne d'amidon

On se base souvent sur la « ligne d'amidon » des grains, aussi appelée « ligne de maturité », pour évaluer le moment où il faut récolter le maïs d'ensilage. On n'a qu'à rompre un épi en deux et à examiner les grains. À l'apparition de la dent (stade où la ligne d'amidon arrive à 0 % de la hauteur du grain), une ligne blanchâtre est visible sur le grain. Cette ligne correspond à la ligne de démarcation entre la zone laiteuse et la zone pâteuse du grain. Elle se déplace depuis le sommet du grain jusqu'à sa base au fur et à mesure que le grain parvient à maturité et s'assèche. Une fois rendue à la base (stade où la ligne d'amidon a atteint 100 % de la hauteur du grain), un point noir apparaît. La règle d'or a toujours été de récolter le maïs quand la ligne d'amidon se situe de la moitié aux deux tiers de la hauteur du grain.

Il y a une grande différence entre le pourcentage exprimant la hauteur de la ligne d'amidon du grain et la teneur en eau de la plante entière. En effet, la teneur en eau de la plante entière quand la ligne d'amidon est à la moitié de la hauteur du grain peut correspondre à une fourchette étendue, de sorte que la teneur en eau peut être trop élevée dans certains cas et trop faible dans d'autres. Lorsque le temps est relativement sec, la teneur en eau de la plante entière peut être plus basse que prévu, quelle que soit la hauteur de la ligne d'amidon. De plus, la ligne d'amidon diffère d'un hybride à l'autre en raison du caractère « reste vert ». En effet, une cote élevée pour ce caractère signifie que les grains sèchent plus rapidement que le fourrage. Cette situation est souhaitable chez les hybrides de maïs-grain, car, à mesure que le grain sèche, les tiges restent vertes et saines et elles sont moins vulnérables aux cassures et à la verse en fin de saison. Bon nombre d'hybrides destinés uniquement à l'ensilage ont une faible cote « reste vert », de telle sorte que le grain renferme davantage d'humidité comparativement à la plante entière. La verse affecte moins l'ensilage, et le fait d'avoir une teneur en eau supérieure accroît la digestibilité de l'amidon. Les hybrides dont la cote « reste vert » est élevée peuvent présenter une ligne d'amidon plus avancée relativement à la teneur en eau de la plante entière. Par contre, les hybrides destinés à l'ensilage seulement qui ont une cote « reste vert » faible seront prêts à être récoltés même si leur ligne d'amidon est moins avancée. Vérifier auprès d'un représentant d'un fournisseur de semences pour connaître les recommandations d'usage concernant la ligne d'amidon pour un hybride en particulier.

Calcul de la teneur en eau

En raison de la variation entre la progression de la ligne d'amidon et la teneur en eau de la plante entière, la façon la plus précise de déterminer le moment propice de la récolte est de mesurer la teneur en eau. Choisir au moins dix plants du champ en évitant les tournières. Se méfier de la variabilité de l'humidité au sein d'un même champ. Hacher un échantillon au moyen d'une récolteuse ou d'une déchiqueteuse mobile. Utiliser un doseur d'humidité commercial pour fourrages et un micro-ondes ou faire appel à un laboratoire pour déterminer le pourcentage de matière sèche. Il se peut que les doseurs et les micro-ondes n'enlèvent pas toute l'humidité résiduelle de l'échantillon et ils peuvent même sous-estimer la teneur d'environ 3 %. Plus l'échantillon est haché finement, plus il sèche facilement et plus le résultat est précis.

Peu après l'apparition de la dent, c'est-à-dire lorsque la ligne d'amidon est d'environ 20 %, il est possible de calculer la teneur en eau de la plante entière. Au cours d'une année type, le maïs d'ensilage perd environ 0,5 % d'humidité par jour. Cela signifie que, si l'échantillon avait une teneur en eau de 70 % et que la teneur en eau cible était de 65 %, il faut récolter le maïs environ dix jours après l'échantillonnage. Lors d'années sèches, la vitesse de séchage est plus grande tandis que lors d'années humides, elle est moins grande. On peut vérifier la teneur en eau plus près de la récolte, au besoin.

Fermentation de l'ensilage

Lorsqu'on met des fourrages dans un silo pour la première fois, les conditions de celui-ci sont aérobiques (l'ensilage contient de l'oxygène). Les bactéries aérobies produisent de la chaleur lorsqu'elles transforment les glucides et les sucres en dioxyde de carbone et en eau et utilisent l'oxygène piégé.

Une fois que l'oxygène a été consommé, l'ensilage devient anaérobique et propice à la croissance de bactéries anaérobies. Ces organismes transforment les glucides et les sucres en acides organiques qui permettent de conserver l'ensilage. De plus, une certaine quantité de protéines est transformée en acides aminés, en ammoniac et en d'autres composés azotés non protéiques. Pendant ce processus d'ensilage, les acides font diminuer le pH, tandis que la production d'ammoniac a tendance à le hausser. En fait, la production d'ammoniac augmente le temps qu'il faut pour stabiliser le pH.

En deux ou trois semaines, le pH de l'ensilage se stabilise entre 4,0 et 5,0, et toute activité bactérienne et enzymatique cesse. Une fois le pH stabilisé, les risques de dégradation des éléments nutritifs et de gaspillage disparaissent, ce qui permet de conserver l'ensilage pour de longues périodes, à condition que l'air n'y pénètre pas.

Pertes d'ensilage dues à l'entreposage

La majorité des pertes d'ensilage dues à l'entreposage est attribuable à l'exposition à l'oxygène.

Pertes dues à la respiration des cellules végétales

Au moment de la récolte et de l'ensilage des plantes, les cellules végétales continuent de respirer, ce qui entraîne une dégradation des sucres et d'autres glucides.

Pertes dues à la fermentation

Les fermentations primaire et secondaire provoquent divers niveaux de pertes. Une période de fermentation prolongée peut entraîner une dégradation excessive des sucres. Certains types de bactéries sont moins efficaces que d'autres. À des teneurs en eau supérieures à 70 %, il peut se produire une fermentation clostridiale, ce qui est peu efficace et produit un taux élevé d'acide butyrique.

Pertes par suintement

Lorsqu'on met du fourrage excessivement humide dans un silo, sous l'effet du poids de l'ensilage, du liquide peut s'en échapper et s'accumuler au fond du silo. Ces effluents entraînent des sucres et d'autres éléments nutritifs hors du silo. En plus d'être nuisibles à l'environnement, les effluents peuvent provoquer une corrosion excessive des parois du silo, des tiges d'armature et même l'effondrement éventuel du silo. Consulter la fiche technique du MAAARO, *Le stockage des effluents d'ensilage*, commande n° 95-044, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/livestock/dairy/facts/95-044.htm.

Échauffement

L'échauffement des plantes provoque la combinaison de sucres et de protéines en composés indigestibles. Il se produit ensuite une torréfaction ou un brunissement de l'ensilage et une réduction de la digestibilité des protéines. Dans des cas extrêmes, quand l'ensilage est trop sec ou que de l'air pénètre dans l'ensilage, une combustion spontanée peut conduire à un incendie. De tels incendies peuvent se déclarer à tout moment de l'année et sont pratiquement impossibles à éteindre.

Détérioration superficielle

L'ensilage non couvert et peu compacté se gâte, car l'exposition à l'oxygène provoque la croissance de microorganismes aérobies (levures, moisissures et bactéries aérobies).

Pertes dues à l'alimentation

La qualité de l'ensilage peut également diminuer lorsqu'on ouvre le silo pour servir l'ensilage aux animaux. En fait, les pertes sont dues aux levures et aux moisissures qui deviennent actives quand l'ensilage est de nouveau exposé à l'oxygène. Des pertes secondaires peuvent survenir sur la surface exposée de l'ensilage ou dans le distributeur de fourrage.

Pratiques recommandées en matière d'ensilage préfané et d'ensilage de maïs

1. Entreposage à la bonne teneur en eau

- silo vertical traditionnel : 60–65 %
- silo horizontal : 60–70 %
- silo hermétique : 50–60 %
- silo-boudin : 60–70 %
- grosses balles d'ensilage préfané enveloppées : 40–60 %

Si l'ensilage est trop sec, il se tasse mal, l'air y pénètre, la fermentation est insuffisante et il chauffe. Si l'ensilage préfané devient trop sec, il faut ensiler des fourrages frais et continuer de remplir le silo en alternant les charges fraîches et sèches. L'ajout d'eau n'augmente pas la teneur en eau de l'ensilage sec, car celui-ci ne l'absorbe pas et l'eau peut facilement s'écouler. De plus, l'utilisation d'un boyau d'arrosage ne procure pas assez d'eau pour modifier de façon significative la teneur en eau de l'ensilage. L'ensilage récolté à une teneur en eau supérieure à 70 % peut engendrer des effluents et une fermentation clostridiale indésirable qui provoque la formation d'acide butyrique, des pertes de matière sèche considérables, ainsi qu'une valeur alimentaire, une sapidité et une prise alimentaire médiocres.

2. Longueurs de coupes conseillées

Le hachage fin facilite l'expulsion de l'air en améliorant le tassement; mais il ne faut pas que l'ensilage soit trop fin, car cela nuit au rumen. La longueur réelle diffère donc de la longueur de coupe théorique; elle peut être vérifiée au moyen d'un séparateur de fourrages.

Habituellement, l'ensilage préfané exige une longueur de coupe théorique (LCT) de 10 mm (7/16 po). Par contre, un ensilage pourrait nécessiter une LCT plus courte (6 mm ou 1/4 po) pour assurer un tassement adéquat. Bien qu'elle joue un rôle important dans le cas des silos verticaux et hermétiques, la longueur de coupe revêt probablement une plus grande importante dans le cas des silos horizontaux. Les lames des fourragères doivent être bien aiguisées et réglées convenablement. Il n'est pas conseillé de hacher plus fin que 6 mm (1/4 po); cela n'améliore pas le tassement, en plus de nécessiter plus de puissance mécanique et de causer des problèmes nutritionnels.

Les conditionneurs d'ensilage de maïs sont munis de rouleaux leur permettant de rompre les épis, d'ouvrir les grains et de hacher les tiges. Avec les conditionneurs, la LCT recommandée est de 19 mm (3/4 po), tandis que,

sans conditionneur, elle est de 10 mm (7/16 po). En effet, il est peut-être préférable d'utiliser un conditionneur si le maïs est relativement sec, dur et texturé.

3. Mise en silo rapide
Il est important de remplir le silo le plus rapidement possible afin d'accélérer la fermentation et de minimiser les pertes. Si le remplissage est retardé de quelques jours, l'ensilage doit être couvert de plastique afin de réduire le risque de détérioration. Dans le cas d'un silo vertical, l'ensilage ne se tasse que lorsqu'il y a suffisamment de matière dedans. La couche supérieure de l'ensilage est moins dense et contient plus d'air, ce qui peut provoquer un échauffement et une diminution de la qualité.

4. Tassement adéquat des silos horizontaux
Au lieu de remplir un silo-couloir de bas en haut, on doit le remplir de l'arrière à l'avant de sorte à former un « coin progressif ». À mesure qu'on remplit le silo, on doit tasser l'ensilage en couches relativement minces (15 cm ou 6 po) afin de bien en expulser l'air. Il est essentiel de prendre le temps de tasser l'ensilage et d'utiliser un tracteur assez lourd. En effet, il faudra peut-être utiliser plusieurs tracteurs ou réduire le rythme de déchargement de l'ensilage dans le silo afin d'augmenter le temps de tassement par tonne.

5. Silo hermétique
Un silo tour peut fonctionner comme une cheminée. S'il y a entrée d'air, celui-ci est aspiré vers le haut, à travers l'ensilage, ce qui peut entraîner la détérioration ou l'échauffement de l'ensilage et, dans des cas extrêmes, causer des incendies. Il peut y avoir des fentes dans les parois des silos ou autour des portes; le cas échéant, on doit les calfeutrer ou remettre les parois et les portes en état afin de prévenir l'entrée d'air.

6. Répartition uniforme de l'ensilage dans les silos tours
Sans une bonne répartition, les éléments légers ont tendance à s'accumuler près de la paroi, empêchant un bon tassement.

7. Herméticité
- Il est crucial de couvrir hermétiquement un silo horizontal avec une toile de plastique. En fait, le plastique doit être solidement maintenu en place. Placer de vieux pneus l'un à la suite de l'autre (de sorte qu'ils se touchent) fonctionne très bien. Si le plastique ballotte au vent, il agit comme un soufflet et pousse de l'air dans l'ensilage plutôt que de l'en expulser.
- Dans le cas des silos tours, la couche supérieure de l'ensilage est de faible densité; l'air peut y pénétrer. Pour réduire le risque de détérioration jusqu'à ce que la fermentation soit complète, l'ensilage doit être couvert de plastique, tenu en place par quelques centimètres d'ensilage. Il faut se protéger contre les gaz d'ensilage (voir la rubrique *Gaz d'ensilage*, p. 187).
- Pour ce qui est des silos hermétiques, les portes doivent être fermées la nuit et durant les pauses de remplissage. Une fois le silo rempli, les portes doivent être fermées immédiatement.

8. Fermentation complète
La fermentation de l'ensilage prend un maximum de 21 jours. Pour garantir un ensilage stable et maximiser la durée d'utilisation pour l'alimentation du bétail, ne pas utiliser le silo avant que la fermentation ne soit achevée.

9. Enlèvement rapide pour une détérioration minimale
La vitesse d'enlèvement détermine le niveau de détérioration de la surface de l'ensilage. Choisir un silo convenable. L'hiver, les silos verticaux doivent être vidés à une vitesse minimale de 5 cm (2 po) par jour, et l'été, de 7 à 10 cm (2¾ à 4 po) par jour. Les silos horizontaux, eux, doivent être vidés de 10–15 cm (4–6 po) par jour selon la saison.

10. Détérioration minimale grâce à la gestion de la surface de l'ensilage
On devrait enlever l'ensilage des silos horizontaux en grattant la surface de la masse de haut en bas à l'aide d'une benne chargeuse. Le fait d'enlever l'ensilage en soulevant la masse de bas en haut dérange l'ensilage et permet à l'oxygène d'y pénétrer et d'amorcer la détérioration aérobique. Il est aussi possible de se procurer des bennes à chèvre qui permettent de réduire au minimum la détérioration de la surface de l'ensilage.

Inoculants bactériens pour ensilage

On entend par inoculant pour ensilage un additif contenant des bactéries lactiques pouvant améliorer la fermentation. De fait, ces bactéries accroissent la vitesse et l'efficacité de la fermentation, permettant une réduction plus rapide du pH. Ce type d'inoculant a pour principal avantage de réduire les pertes en matière sèche. De plus, la solubilisation des protéines peut être ralentie légèrement, alors que le rendement des animaux et l'indice de consommation peuvent s'améliorer. L'augmentation de la durée d'utilisation de l'ensilage dépend du pH et du niveau d'acide acétique.

Les inoculants bactériens pour ensilage renferment normalement le *Lactobacillus plantarum* et d'autres espèces de bactéries. Lorsqu'on applique la dose recommandée, ce produit devrait fournir un minimum de 100 000 colonies de bactéries vivantes par gramme

de fourrage. Les produits liquides ont cependant un avantage par rapport aux produits secs : la possibilité d'être appliqués de façon plus homogène.

Si la population de bactéries lactiques est naturellement élevée, les inoculants sont moins susceptibles d'être efficaces. En fait, la population naturelle s'acccroît quand la température de flétrissement est plus élevée que d'habitude, quand l'ensilage prend plus de temps à flétrir, quand il pleut durant le flétrissement et quand la teneur en eau est plus élevée durant le hachage. Les inoculants sont habituellement moins efficaces sur l'ensilage de maïs que sur l'ensilage préfané.

L'application d'un inoculant pour ensilage n'élimine pas les effets d'une mauvaise gestion de l'ensilage ou de conditions météorologiques médiocres. Ils sont davantage efficaces lorsqu'on les applique à du fourrage de qualité géré de la meilleure façon possible.

Tout additif, y compris les inoculants pour ensilage, destiné à la vente au Canada doit être homologué auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments. Pour obtenir une homologation permanente, les fabricants doivent fournir des recherches à l'appui des allégations sur l'étiquette. Si, toutefois, des recherches ont été effectuées, mais que les résultats ne sont pas concluants, les produits peuvent être admissibles à une homologation temporaire d'une durée maximale de trois ans afin que des études supplémentaires puissent être menées pour étayer une allégation nutritionnelle. Le numéro d'homologation temporaire débute par la lettre « T ». Demander à un représentant du fabricant de fournir des preuves relatives aux allégations de son produit. Il est important que l'étiquette du produit mentionne que celui-ci s'utilise sur la culture à ensiler et que les directives d'entreposage soient suivies à la lettre.

Problèmes d'ensilage courants et leurs causes

On signale plusieurs problèmes courants touchant l'ensilage. Voir le tableau 5–14, *Problèmes d'ensilage courants et leurs causes*, ci-contre, pour une liste des causes éventuelles.

Tableau 5–14.
Problèmes d'ensilage courants et leurs causes

Problème	Cause
Ensilage chaud ou moisi	• Faible teneur en eau • Remplissage lent du silo • Infiltration d'air • Compaction médiocre • Enlèvement lent de l'ensilage
Caramélisation (couleur foncée, odeur de tabac)	• Échauffement dû à une faible teneur en eau et à une compaction médiocre
Ensilage gelé	• Teneur en eau trop élevée • Fermentation médiocre
Odeur de vinaigre	• Excès d'acide acétique provoqué par un faible taux de sucre dans les plantes ou une fermentation médiocre
Suintement	• Teneur en eau trop élevée
Odeur rance	• Acide butyrique dû à une fermentation clostridiale provoquée par une teneur en eau trop élevée
Odeur d'alcool	• Fermentation de levure due à l'enlèvement lent de l'ensilage, à la présence d'oxygène ou à un faible taux de bactéries lactiques

Gaz d'ensilage

Le dioxyde d'azote (NO_2) est un gaz asphyxiant dangereux qui est produit par les réactions chimiques qui se déclenchent presque immédiatement après l'entassement des végétaux dans le silo. Même une exposition de courte durée peut provoquer rapidement la mort. Le dioxyde d'azote a une odeur caractéristique d'eau de Javel et peut être visible sous la forme d'un brouillard brun rougeâtre. Comme il est plus lourd que l'air, il tend à stagner juste au-dessus de l'ensilage. Il peut aussi descendre dans la chute du silo et se répandre dans la salle de préparation des aliments.

Les conditions météorologiques et les pratiques culturales ont une incidence sur la teneur en nitrates des matières végétales, laquelle influe à son tour sur la production de NO_2 dans le silo. Par exemple, lorsqu'une pluie abondante succède à une période de sécheresse pendant la saison de croissance, le maïs sur pied a tendance à absorber de fortes quantités de nitrates dissous. Si le maïs est récolté avant qu'il ait pu transformer les nitrates en protéines, l'ensilage dégage de l'oxyde nitreux (N_2O) et de l'oxyde nitrique (NO). Le NO instable se combine avec l'oxygène pour former du dioxyde d'azote mortel.

Quand il est inhalé, le NO_2 se dissout au contact de l'humidité de la surface interne du poumon et produit un acide puissant appelé acide nitrique. L'acide nitrique brûle les tissus des poumons, provoquant une hémorragie massive et la mort. Une exposition répétée à des concentrations faibles de NO_2 cause des problèmes respiratoires chroniques, dont l'essoufflement, la toux et du liquide dans les poumons. Consulter un médecin immédiatement.

Précautions et procédures à observer

- Placer un panneau « Attention – Gaz d'ensilage » dans un endroit bien en vue à côté du silo.
- Ne pas laisser les enfants ni les visiteurs s'approcher du silo pendant les trois semaines qui suivent le remplissage.
- Demander au service local des incendies s'il possède dans son matériel de secours un appareil respiratoire par pression. L'appareil autonome de plongée (scaphandre) ne convient pas parce que les réservoirs sont trop gros pour permettre de passer dans la chute du silo ou d'escalader la cage-échelle extérieure avec la grosse bonbonne d'oxygène accrochée dans le dos.
- Fournir suffisamment de ventilation dans la salle de préparation des aliments pour dissiper les gaz qui auraient pu s'y répandre depuis le silo.
- Pendant le remplissage, régler au besoin le répartiteur pour que l'ensilage soit épandu de façon uniforme. Ne pas niveler l'ensilage à la main.
- S'il est nécessaire d'entrer dans le silo quand le remplissage est terminé, le faire immédiatement après la dernière remorque, le jour même. Ne pas oublier de laisser fonctionner la souffleuse à ensilage quand on est à l'intérieur du silo.
- Quiconque tente de pénétrer dans un silo doit être muni d'une corde de sauvetage tenue par le nombre de personnes nécessaires pour assurer sa sortie en cas de danger.
- Les silos hermétiques sont un cas particulier. Il ne faut y pénétrer que lorsque c'est absolument nécessaire et après s'être équipé d'un appareil raccordé à une source d'air extérieur.
- La désileuse par le haut permet habituellement une bonne ventilation du silo. Par contre, s'il devient nécessaire de la réparer, on doit supposer qu'on est en présence de gaz. Pour évacuer les gaz avant d'entrer dans le silo, on ferme les portes de la chute, on ouvre la trappe du toit et on fait fonctionner la souffleuse à ensilage. Si la hauteur libre entre l'ensilage et le toit est supérieure à 5 m (16 pi), on fixe un adaptateur au conduit de la souffleuse. Dans un silo de 7,2 m (24 pi) de diamètre, où la hauteur libre est de 5–10 m (16–33 pi), on accroît la durée de la ventilation. On doit laisser fonctionner la souffleuse tant que quelqu'un se trouve dans le silo.

Consulter la fiche technique du MAAARO, *Gaz dangereux*, commande n° 99-002, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/engineer/facts/99-002.htm.

Grosses balles d'ensilage préfané

La mise en balles d'ensilage préfané (ensilage en balles) est graduellement devenue un moyen apprécié d'entreposer du fourrage d'excellente qualité. En fait, transformer de grosses balles en de l'ensilage préfané permet aux agriculteurs d'être davantage dynamiques et consistants relativement à leur calendrier de fauche, car ils sont moins à la merci des conditions météorologiques. Certains agriculteurs en font leur principal système d'entreposage, mais il est généralement employé comme système secondaire souple lorsque les silos sont pleins et que la température ne permet pas le séchage. En outre, ce système permet d'obtenir de l'ensilage préfané à tige longue. On utilise des sacs ou un emballage en plastique.

On effectue la mise en balles de l'ensilage préfané à l'aide, entre autres, d'une presse à balles rondes, disponible un peu partout. On peut distribuer l'ensilage en balles en utilisant les mêmes équipements que pour les grosses balles sèches. Cela permet de faire le nombre de balles souhaité en fonction des conditions météorologiques. Cependant, il sera peut-être nécessaire d'avoir recours à des machines plus lourdes et à des tracteurs à quatre roues motrices pour manipuler les balles les plus lourdes.

Le coût et l'élimination des pellicules de plastique sont des préoccupations importantes. Le coût devient moins important si l'on considère la teneur élevée en protéines et en énergie du fourrage entreposé et l'importance du moyen d'entreposage comme tel. Quand on s'apprête à calculer les coûts-avantages du système, on devrait tenir compte de la réduction des pertes de récolte et de l'amélioration de la qualité du fourrage dues à l'avancement de la date de récolte. Consulter la fiche technique du MAAARO, *Le recyclage des films plastiques utilisés sur la ferme*, commande n° 95-020, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/livestock/dairy/facts/95-020.htm.

La fermentation des grosses balles d'ensilage préfané est incomplète ou se fait moins bien, ce qui fait accroître le pH (c'est-à-dire que l'ensilage est moins acide) et rend cet ensilage moins stable que l'ensilage traditionnel. Cela signifie qu'on doit mettre davantage l'accent sur les bonnes techniques d'ensilage, surtout en ce qui concerne l'expulsion de l'oxygène. En fait, il faut faire correspondre aux conditions météorologiques la durée de l'entreposage et de l'exposition des balles à l'oxygène avant l'utilisation de l'ensilage.

Suivre les pratiques de gestion suivantes :

- Mettre en balles très compactes et égales du fourrage de qualité ayant une teneur en eau de 40–60 %.

- Éviter toute contamination par du fumier ou des bactéries terricoles éclaboussées par la pluie ou l'andainage.
- Entreposer rapidement les balles de manière à exclure l'oxygène le plus tôt possible et s'assurer qu'elles sont toujours enveloppées hermétiquement.
- S'assurer que l'utilisation de l'ensilage se fait efficacement et rapidement afin d'éviter toute détérioration.
- Utiliser du plastique de qualité afin de fournir un environnement hermétique.

Lutte contre les mauvaises herbes

Période critique

Il n'y a aucune période critique de lutte contre les mauvaises herbes dans les cultures fourragères. À l'établissement d'une culture fourragère, il est crucial de maîtriser les mauvaises herbes au début de sa période de croissance. Consulter l'étiquette de l'herbicide de postlevée pour connaître le stade de croissance des mauvaises herbes où le traitement assure une maîtrise optimale. Les jeunes légumineuses fourragères sont très vulnérables aux herbicides; la dose convenable et le stade de croissance de la culture sont donc cruciaux. Le moment choisi pour lutter contre les mauvaises herbes doit coïncider avec la période critique pour la culture et le stade de croissance optimal des mauvaises herbes.

Dans le cas de fourrages et de pâturages établis, il vaut mieux appliquer la plupart des herbicides permettant de maîtriser les mauvaises herbes bisannuelles tôt l'automne la première année de croissance ou tard le printemps la deuxième année, sauf avis contraire sur l'étiquette. La lutte mécanique contre les dicotylédones bisannuelles donne les résultats les meilleurs à la floraison. Quant aux mauvaises herbes vivaces, un traitement entre la fin mai et la mi-juin, quand elles poussent activement, est habituellement l'idéal (sauf avis contraire). Si on traite les pâturages contre le chardon des champs et l'asclépiade au moyen d'un applicateur à mèche, il faut attendre que ceux-ci soient entre le stade bouton et le stade floraison.

Certains herbicides empêchent de servir les fourrages traités dans l'année du traitement. Consulter l'étiquette pour savoir quand on peut permettre au bétail de brouter de nouveau dans la zone traitée et connaître la durée de la période entre le traitement et la récolte du foin ou de l'ensilage préfané.

Restrictions culturales

Il est à noter que certains herbicides utilisés dans les cultures de maïs et de soya peuvent laisser des résidus pouvant endommager les plantules de fourrages. En effet, certains de ceux-ci dépendent du pH du sol ou de la matière organique. Consulter l'étiquette du produit utilisé l'année précédente pour vérifier s'il y a des restrictions avant d'établir de nouvelles plantules. Voir la rubrique *Restrictions (rotation des cultures et pH du sol)* de la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Pertes de récolte dues aux mauvaises herbes

Les pertes de rendement varient selon l'espèce, la densité des mauvaises herbes et le moment où elles lèvent. Les plants qui lèvent tard sont moins concurrentielles et produisent moins de graines. Les fourrages établis sont davantage concurrentiels que les fourrages nouvellement établis.

Il faut également tenir compte de la qualité des récoltes quand on prend une décision concernant la lutte contre les mauvaises herbes. En effet, la présence des mauvaises herbes diminue la qualité et la valeur du foin. Certaines mauvaises herbes peuvent aussi réduire la sapidité du foin et du fourrage.

Lutte intégrée contre les mauvaises herbes

La rotation des cultures peut être efficace pour réduire certaines mauvaises herbes vivaces qui prospèrent dans une culture donnée. Les fourrages sont connus pour réduire les populations de mauvaises herbes annuelles au cours de la première année de la culture suivante, mais les mauvaises herbes annuelles peuvent présenter un problème à l'établissement des fourrages. Utiliser des semences de qualité et vigoureuses pour obtenir des peuplements homogènes et les densités de peuplement recommandées. Semer tôt est aussi un moyen de donner une longueur d'avance aux cultures afin de lutter contre les mauvaises herbes. Le fait de semer creux retarde la levée, ce qui profite aux mauvaises herbes.

Les graines de mauvaises herbes peuvent être transportées d'un champ à l'autre par, entre autres, la moissonneuse-batteuse, le matériel de travail du sol et les forces érosives. Les mauvaises herbes peuvent également être apportées par les épandages de fumier ou autres amendements du sol. L'assainissement et le nettoyage du matériel, ainsi que l'entretien des pourtours du champ, sont autant de facteurs qui influencent la maîtrise à long terme des mauvaises herbes dans le champ.

Consulter la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour plus d'information, notamment sur les produits herbicides et sur les doses.

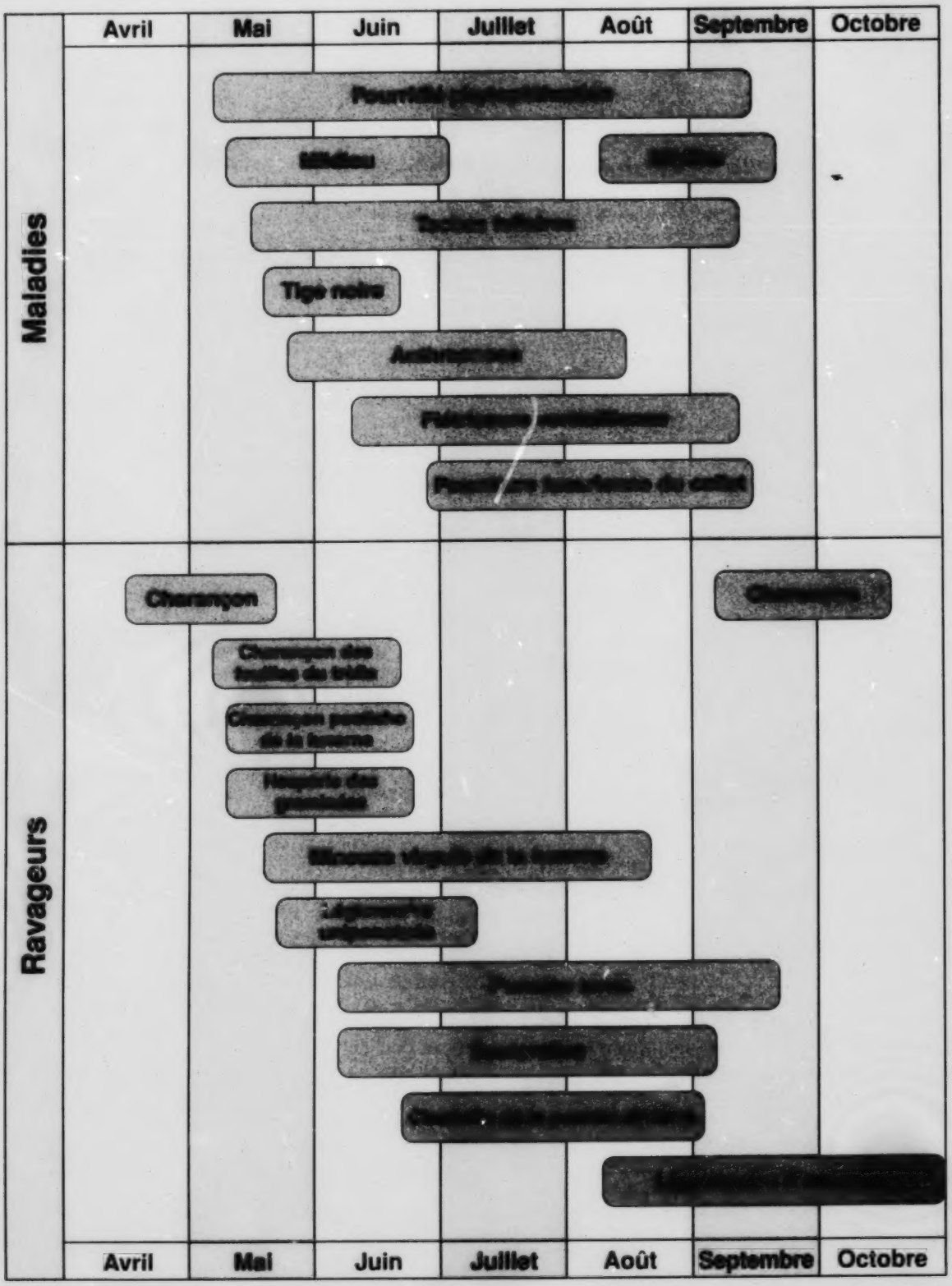


Figure 5–3.
Calendrier de dépistage des ennemis des fourrages

Ravageurs

Le tableau 5–15, *Symptômes observés dans le champ*, ci-dessous, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les symptômes décrits.

On trouve après le tableau la description des ravageurs et des maladies des fourrages et les moyens recommandés pour les combattre.

Tableau 5–15.
Symptômes observés dans le champ

Symptôme	Insecte						
	Mineuse virgule de la luzerne	Charançon de la luzerne	Charançon postiche de la luzerne	Légionnaire uniponctuée	Légionnaire d'automne	Sauterelles	Cicadelle de la pomme de terre
Flétrissement ou mort des plants							
Profondes rainures en spirale dans la racine pivotante		x					
Dommages causés par l'alimentation							
Galeries ou tunnels entre les couches supérieures et inférieures des feuilles	x						
Perforations ou décharnement des feuilles			x				
Dommages aux pourtours des feuilles et aux bourgeons				x	x[1]	x	
Décoloration des feuilles							
Jaunissement en forme de V à l'extrémité des feuilles; les feuilles semblent brûlées							x

[1] Présence d'excréments rouges et humides.

Charançon de la luzerne

Description: Au stade adulte, le charançon de la luzerne fait environ 12 mm de long, est gris foncé et ne peut pas voler (voir planche 89, p. 338). Les larves sont petites, blanches et apodes et leur tête est d'un brun rougeâtre pâle. On les trouve dans le sol; elles se nourrissent sur ou dans les racines (voir planche 90, p. 338).

Cycle biologique: Le charançon de la luzerne a un cycle de deux ans. Après avoir hiverné, les adultes se réveillent en avril; ils se nourrissent des pousses de luzerne et migrent vers de nouveaux champs pour pondre leurs œufs. Les adultes peuvent marcher de courtes distances ou se laissent porter plus loin grâce au transport du sol, du gravillon, du foin ou grâce aux machineries agricoles et aux cours d'eau. Tous les adultes sont des femelles. Les œufs éclosent peu après et les larves se nourrissent des racines principales et secondaires de la plante-hôte. Le cycle biologique total dure deux ans.

Dommages: Cet insecte potentiellement dangereux pour les fourrages a été découvert récemment dans l'est de l'Ontario, près de Prescott et de Brockville. Les larves cernent la racine pivotante ou rongent sa surface en laissant de profondes rainures en spirale. À l'automne, certains plants attaqués par le charançon se reconnaissent à leur jaunissement et souvent à la disparition des feuilles. Les adultes se nourrissent des feuilles et des tiges, ce qui cause peu de dommages. Les dommages sont plus évidents à la fin de l'été ou au début de l'automne.

Techniques de dépistage: Faire le dépistage en début de saison dans les comtés de l'est de l'Ontario infestés par le charançon de la luzerne. À la fin de la saison, déraciner les plants flétris afin de voir s'ils présentent des dommages ou des larves. Le charançon de la luzerne peut s'en prendre à toute une gamme d'hôtes. Ses larves affectionnent particulièrement la luzerne,

mais elles peuvent aussi s'attaquer à toutes les espèces de trèfle, de vigne et de fraisier. Elles s'en prennent même parfois à des mauvaises herbes, en particulier à celles qui ont des racines charnues comme la carotte sauvage et le pissenlit.

Seuils d'intervention: Aucun seuil disponible.

Stratégies de lutte: La rotation de la luzerne avec des cultures ne servant pas d'hôtes interrompt le cycle biologique de ce ravageur et en diminue nettement les populations. Les cultures qui ne servent pas d'hôtes sont le maïs, les céréales à paille et le soya. Dans les champs très infestés, il est recommandé de cultiver des cultures de rotation pendant au moins deux ans pour réduire fortement la population du ravageur.

Pour minimiser le risque de transmission de ce ravageur, nettoyer consciencieusement les machines agricoles avant de quitter un champ infesté et entreposer le foin de première coupe d'une luzernière infestée au moins deux mois avant de l'expédier ailleurs. Des restrictions ont été imposées sur le transport de foin, de paille, de sol et de compost provenant de champs infestés. Si on soupçonne la présence de ce ravageur, il faut communiquer avec l'entomologiste provincial en matière de grandes cultures ou un spécialiste des fourrages.

Mineuse virgule de la luzerne

Description: L'adulte de cette espèce, aussi connue sous le nom d'agromyze de la luzerne, est une mouche très petite, noire et arquée. Les larves sont petites, de couleur jaune pâle; on les trouve à l'intérieur des tunnels dans le tissu des feuilles.

Cycle biologique: À la fin mai, les mouches adultes émergent des pupes dans lesquelles elles ont hiverné. Les femelles pondent leurs œufs dans les feuilles des nouveaux plants de luzerne. Les larves viennent à maturité dans les petits tunnels des feuilles, puis devenues adultes, se pupifient sur le sol. Une deuxième génération d'adultes apparaît environ une semaine après (mi-juillet), et une troisième vers la mi-août.

Dommages: Cet insecte présente maintenant un problème grave dans le nord de l'Ontario. En effet, on le reconnaît par les petites perforations qu'il fait dans les feuilles lorsqu'il s'alimente et pond ses œufs. Après l'éclosion, la larve se nourrit de l'intérieur des feuilles en creusant de petites galeries ou tunnels entre les couches supérieures et inférieures. Ces tunnels partent habituellement de la base de la feuille et atteignent l'extrémité en s'élargissant, créant des « pustules » sur leur chemin (voir planche 91, p. 338). En général, les dommages dus à l'alimentation font diminuer la qualité du fourrage, mais affectent peu le rendement.

Techniques de dépistage: Inspecter les champs une fois par semaine afin de déterminer le pourcentage de feuilles perforées.

Seuils d'intervention: N'intervenir que si 40 % des feuilles ont été perforées par des adultes.

Stratégies de lutte: Il existe une espèce de parasite qui est efficace contre la mineuse virgule de la luzerne dans le sud de l'Ontario. Les insecticides sont nuisibles à ce parasite et, par conséquent, on ne conseille pas de les utiliser à moins que la population de mineuses virgules de la luzerne soit extrêmement élevée. Pour connaître les insecticides recommandés, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Pour qu'un insecticide soit efficace, on doit l'appliquer au plus tard au moment où les perforations apparaissent.

Charançon postiche de la luzerne

Description: Au stade adulte, le charançon postiche de la luzerne est brun, mesure environ 5 mm de long et a une bande longitudinale brun foncé au milieu du dos (voir planche 92, p. 338). Les larves, vert vif, ont la tête noire, six pattes et une rayure blanche au milieu du dos. À leur plein développement, elles mesurent environ 8 mm de long (voir planche 93, p. 338).

Il ne faut pas confondre les larves du charançon postiche de la luzerne et celles du charançon des feuilles du trèfle. Ces dernières sont en fait plus grosses, leur tête est de couleur brun pâle au lieu de noire, et leur rayure est blanche et bordée de rose. Il ne faut pas non plus confondre les larves du charançon postiche de la luzerne et celles des mouches prédatrices, apodes, qui n'ont pas de capsule céphalique.

Cycle biologique: Les adultes hivernent dans les résidus de culture et émergent au printemps pour se nourrir des nouvelles pousses de luzerne; ils pondent leurs œufs dans les tiges de luzerne en mai. Une fois écloses, les larves atteignent le sommet des plants de luzerne, d'où elles se nourrissent des feuilles et des bourgeons. À la fin juin ou au début juillet, elles s'enferment dans des cocons blancs peu serrés, dans les feuilles; c'est la pupaison. Les adultes sortent des pupes une ou deux semaines plus tard.

Dommages: Ce sont les larves qui causent le plus de dégâts, car elles s'alimentent de l'intérieur des bourgeons à feuille et se déplacent vers le sommet des plants. Les dommages se manifestent d'abord par des perforations, puis des tissus d'apparence décharnée entre les nervures. Dans les champs de luzerne fortement infestés, les larves endommagent les feuilles au point que les champs ont l'air blanc grisâtre ou givré. Les adultes qui se nourrissent pendant l'été ne causent pas de dégâts considérables.

Techniques de dépistage: Inspecter plusieurs parties de chaque champ deux fois par semaine entre la mi-mai et le mois de juin. Les premiers dommages se manifestent dans les sols peu profonds ou sur les pentes au sud, surtout si le printemps est chaud et sec. En Ontario, on a observé que le point culminant des dommages causés par les larves coïncide normalement avec le stade du bouton de la première culture. Pour compter les larves, il suffit de prélever 30 tiges suivant un tracé en forme de « M ». Ensuite, les placer à l'intérieur d'un seau blanc et les frapper contre la paroi afin d'enlever les larves des troisième et quatrième stades larvaires. Les larves des premier et deuxième stades (moins de 3 mm de long) sont d'une couleur variant de jaune pâle à vert pâle, et leur rayure blanche ne paraît pas encore. Il peut y en avoir dans les feuilles supérieures, mais il ne faut pas compter ces larves plus jeunes. Vérifier si les larves des charançons sont actives et saines. Les larves infectées par le champignon pathogène se déplacent lentement et sont de couleur jaune ou havane.

Seuils d'intervention: On se base sur les niveaux de dommages aux pointes des feuilles et sur les comptes de charançons pour évaluer les seuils d'intervention et les mesures appropriées (coupe ou insecticide). **Si 40 % des pointes des feuilles sont abîmées, s'il y a deux ou trois charançons actifs par tige, et s'il reste plus de 7–10 jours avant la date de récolte optimale, il faut envisager d'épandre un insecticide.** On entend par feuilles abîmées le pourcentage de pointes des feuilles qui présentent des signes évidents de dommages. Ne pas confondre ce pourcentage avec le pourcentage de défoliation.

- Moins de une larve active par tige ne nécessite pas une intervention; par contre, il faut continuer de surveiller la situation.
- Si la luzerne mesure moins de 30 cm (12 po) de haut et contient plus de une larve active par tige, il faut intervenir.
- Si la luzerne mesure moins de 40 cm (16 po) de haut et contient deux larves actives par tige, il faut intervenir.
- Si la luzerne contient plus de trois larves actives par tige, il faut intervenir immédiatement.

Si les populations de charançons sont élevées lors d'une première coupe tardive, il peut arriver que les larves survivantes s'alimentent des repousses de luzerne, ce qui peut entraîner une perte totale du peuplement. Si le champ est fortement infesté, il faut surveiller la repousse du chaume. Le symptôme principal est que les plants de luzerne ne verdissent pas, car les charançons se nourrissent des bourgeons du collet. **La présence d'au moins deux larves actives par collet, ou de 4–8 larves/pi^2, justifie la pulvérisation d'un insecticide sur le chaume.**

Stratégies de lutte: On signale la présence de mycoses et de plusieurs espèces de parasites en Ontario et, la plupart des années, il n'est pas nécessaire de traiter les peuplements de fourrages avec des insecticides. La clé de la lutte contre le charançon postiche de la luzerne est la récolte en temps opportun ou l'application d'un insecticide fondée sur l'inspection des champs. Si l'infestation est menaçante, il faut faucher immédiatement les champs afin d'éliminer les dommages dus à l'alimentation. Le moment idéal pour faucher, c'est-à-dire pour obtenir du fourrage de qualité, est le stade du bouton. À l'occasion, s'il fait chaud au mois de mai, les charançons éclosent tôt et les dommages dus à l'alimentation se manifestent avant qu'il ne soit pratique de récolter la luzerne. Le cas échéant, il pourrait être justifié d'épandre un insecticide. Consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour plus d'information. Les insecticides pour le charançon postiche de la luzerne peuvent aider à lutter contre d'autres ravageurs, par exemple la cicadelle de la pomme de terre et la punaise. Il est à noter cependant que l'utilisation d'un insecticide sur la luzerne tue aussi les insectes utiles, les ennemis naturels de ces ravageurs. L'emploi d'insecticides augmente donc les risques d'infestations futures.

Cicadelle de la pomme de terre

Description: La cicadelle adulte est un insecte ailé, vert pâle, au corps cunéiforme, d'environ 3 mm de long, qui possède des pièces buccales de type perceur-suceur (voir planche 56, p. 331). Les adultes ont la tête plus large. Leur corps s'affine graduellement en allant vers le bout des ailes. Le derrière de la tête est ponctué de six taches blanches rondes. Les nymphes n'ont pas d'ailes et sont plus petites que les adultes.

Cycle biologique: La cicadelle de la pomme de terre n'hiverne pas en Ontario. Elle migre vers le nord chaque printemps, portée par les fronts climatiques venant du sud, depuis le golfe du Mexique. Les adultes peuvent arriver à la fin du printemps et se nourrissent d'abord de la sève des plants. Les femelles pondent leurs œufs dans le tissu des nervures principales et des pétioles des feuilles. Le passage d'œuf à adulte prend environ quatre semaines.

Dommages: Les plantules et les jeunes repousses sont les plus vulnérables aux dommages, causés tant par les nymphes que les adultes qui sucent la sève des feuilles et y injectent des protéines qui obstruent les nervures. À son tour, le pourtour des feuilles jaunit et développe des cloques. Ce symptôme se manifestant sous forme de « V » jaune commençant à l'extrémité des feuilles. Lorsque la situation est grave, les feuilles semblent roussies, ce qu'on appelle « brûlure de la cicadelle » (voir planche 94, p. 338). La cicadelle de la pomme de terre peut faire réduire la teneur en protéines de la luzerne de 2–3 %, en plus de faire diminuer la hauteur et le rendement moyens des plants. Les rangs périmétriques sont habituellement les premiers touchés. Les cicadelles ont tendance à s'attaquer aux champs de soya et de haricots comestibles une fois les champs de luzerne avoisinants fauchés. Les symptômes de la cicadelle de la pomme de terre sont souvent confondus avec des problèmes occasionnés par les herbicides et des carences nutritives. La plupart des dommages surviennent entre juin et la mi-août. Les principaux facteurs de risque sont les saisons chaudes plus sèches que la normale.

Techniques de dépistage: À partir de la fin juin, balayer 20 fois la végétation à l'aide d'un filet fauchoir en cinq points du champ. Éviter les rangs périmétriques. Calculer la moyenne de cicadelles dans le filet après 20 balayages. Ensuite, prendre 20 tiges de luzerne au hasard et en mesurer la hauteur moyenne. Pour plus de renseignements sur la méthode du filet fauchoir, voir la rubrique *Outils et techniques de dépistage*, p. 1.

Seuils d'intervention:

Hauteur des tiges	N^bre de cicadelles par échantillon
9 cm (3 ½ po)	0,2 adulte
15 cm (6 po)	0,5 adulte
25 cm (10 po)	1,0 adulte ou nymphe
36 cm (14 po)	2,0 adultes ou nymphes

Stratégies de lutte: Il existe des cultivars résistants dont la pubescence agit comme facteur de résistance. Ces poils, tant sur les feuilles que sur les tiges, empêchent la cicadelle de se nourrir. Faucher la luzerne tôt dans la saison peut contribuer à réduire le nombre d'œufs, de nymphes et d'adultes. De plus, il existe un champignon pathogène à l'état naturel qui permet de réduire les populations de cicadelles de la pomme de terre lorsque le temps est frais et humide. Les prédateurs et les parasites ne semblent jouer qu'un petit rôle dans la lutte contre ce ravageur. Si les populations dépassent les seuils d'intervention, il vaudrait peut-être mieux appliquer un insecticide. Consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour plus d'information. Il est à noter que l'épandage d'insecticides tue aussi les insectes utiles, les ennemis naturels de la cicadelle, du charançon postiche de la luzerne et de la punaise.

Hespérie des graminées

Description: L'hespérie des graminées est un ravageur sporadique de la fléole, qu'elle soit cultivée pour le foin ou pour la semence. L'adulte est un papillon citrouille de 2,5 cm d'envergure qui se déplace d'un champ de foin à l'autre à la mi-été. à leur plein développement, les larves, vert pâle, mesurent environ 2,5 cm de long et ont une tête brune et deux rayures pâles. Les jeunes larves ont une tête noire qui devient graduellement brune. Normalement, on trouve les larves enroulées à l'intérieur des feuilles dont elles se nourrissent.

Cycle biologique: Les œufs hivernent sur les tiges de résidus de culture et de mauvaises herbes et éclosent au printemps. Les jeunes larves s'enroulent dans les feuilles, qu'elles ferment grâce à un tissu soyeux. Elles se nourrissent de fléole jusqu'à la fin juin. Ensuite, les larves s'attachent aux tiges de graminées ou au revers des feuilles de mauvaises herbes et se transforment en chrysalides (le stade nymphal du papillon). Environ deux semaines après, les adultes sortent. Il n'y a qu'une génération d'hespéries des graminées par an.

Dommages: L'alimentation des larves fait en sorte que le bord des feuilles est déchiqueté de façon irrégulière et une infestation grave peut entraîner une défoliation. Lorsqu'elles sont très nombreuses, les larves se nourrissent également du faîte des plants, ne laissant que les tiges. Les adultes s'alimentent du nectar des fleurs et des mauvaises herbes et ne causent pas beaucoup de dégâts.

Techniques de dépistage: Commencer à chercher des larves à la fin avril. Au hasard, prélever cinq échantillons de fourrage dans 1 pi^2 au niveau du sol et les placer dans un sac avec les résidus de culture. Fermer le sac et le laisser jusqu'au lendemain matin à la température ambiante. Les chenilles sortiront des résidus; il sera facile de les compter.

Seuils d'intervention: Six larves (stade tête brune) sur une surface de 30 cm sur 30 cm.

Stratégies de lutte: Pour connaître les insecticides recommandés, consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Sauterelles

Description: Il existe plusieurs espèces de sauterelles pouvant s'en prendre aux fourrages; leur couleur varie du vert au brun. Les nymphes ressemblent aux adultes, mais elles sont plus petites et leurs ailes sont incomplètes. Les deux s'alimentent en mâchant. Toutes les espèces ont de grandes pattes postérieures leur permettant de sauter.

Cycle biologique: Les sauterelles hivernent au stade d'œuf dans le sol, habituellement dans les champs non cultivés et les pâturages. Les nymphes éclosent au début juin et commencent à se nourrir des plants en train de lever. Les stades nymphaux durent environ deux mois, après quoi les adultes apparaissent, plus tard dans la saison, pour s'alimenter, s'accoupler et déposer dans le sol les œufs qui produiront la population de l'année suivante. Les sauterelles préfèrent pondre des œufs dans des sols sableux et dans des zones enherbées qui ne sont pas travaillées. Du temps sec pendant une ou deux années favorise la survie des œufs et des nymphes.

Dommages: Les adultes et les nymphes se nourrissent de feuilles. Dans le cas de la luzerne de semence, les sauterelles peuvent être dévastatrices du fait qu'elles s'alimentent des fleurs et des gousses. De fortes infestations peuvent entraîner la défoliation complète des champs et des pertes de rendement. Les dommages causés par l'alimentation des sauterelles sont habituellement observés en premier sur les pourtours des champs, à proximité des rangées d'arbres ou d'arbustes enherbées. Les champs soumis au semis direct, les champs enherbés, les automnes secs et les hivers doux comptent parmi les facteurs de risque élevé.

Techniques de dépistage: Commencer le dépistage à la fin juin, lorsque les sauterelles sont encore jeunes. Inspecter les rangées d'arbres et d'arbustes adjacentes et les bordures enherbées.

Seuils d'intervention: Une moyenne de 15–20 nymphes/m^2 au printemps peut justifier une intervention.

Stratégies de lutte: En début de saison, on doit concentrer les efforts de lutte sur les pourtours du champ, là où les populations de nymphes sont élevées. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures,* pour les recommandations sur les insecticides. Il est à noter que l'épandage d'insecticides tue les insectes utiles, les ennemis naturels de la cicadelle, du charançon postiche de la luzerne et de la punaise. Plusieurs ennemis naturels, dont les carabes et les grillons, se nourrissent des œufs de sauterelles, tandis que les oiseaux et les araignées mangent les nymphes et les adultes, ce qui contribue à réduire les populations. Le champignon *Entomophthora grylli* peut réduire les populations lorsque le temps est chaud et humide. Un travail du sol destiné à débarrasser le champ et ses pourtours des graminées adventices aide à réduire le nombre de nymphes, car celles-ci ont besoin de ces plants pour survivre. Le travail du sol enfouit aussi les œufs plus profondément dans le sol, ce qui empêche les nymphes de sortir. La lutte chimique est plus efficace lorsqu'elle est dirigée contre les nymphes que contre les adultes.

Légionnaire uniponctuée

Description: À son plein développement, la larve de la légionnaire uniponctuée mesure 4 cm (1½ po) de long; sa couleur varie de vert à brun mat. Elle est souvent confondue avec d'autres chenilles, y compris le ver-gris panaché et la légionnaire d'automne. On le distingue notamment par les rayures au pourtour blanc le long de son corps et les stries diagonales foncées au sommet de chaque fausse patte

abdominale (voir planche 18, p. 325). Sa tête est d'un brun jaunâtre et comprend plusieurs lignes brun foncé formant une forme quelconque.

Cycle biologique: Au début du printemps, les papillons préfèrent pondre leurs œufs dans des lieux enherbés. Les larves éclosent et se nourrissent la nuit ou par temps nuageux pendant un mois environ. Il y a deux générations de légionnaires uniponctuées par an, mais c'est la première qui a tendance à causer le plus de dommages au maïs en Ontario.

Dommages: Les larves se nourrissent la nuit. La plupart des dommages dus à leur alimentation surviennent en juillet et touchent les céréales. La légionnaire uniponctuée ne s'en prend pas aux peuplements purs de luzerne, mais plutôt aux mélanges de luzerne et de graminées. Les larves rongent le pourtour des feuilles, puis se déplacent vers le haut pour se nourrir des panicules et des fleurs.

Techniques de dépistage: Le meilleur moment pour inspecter les champs est en début de soirée, juste avant le coucher du soleil. Examiner 20 plants prélevés à 5 endroits (un total de 100 plants). Le jour, il se peut que l'on observe des larves dans les résidus de culture sur le sol ou sous des mottes de terre. On pourrait également trouver des excréments bruns (souvent confondus avec des œufs) sur le sol près des plants. Inscrire le nombre de larves ainsi que leur taille. Ne pas oublier de vérifier si les légionnaires ont des œufs sur le dos. En fait, on trouve habituellement ces petits œufs ovales et jaunâtres derrière la tête des larves. Ces œufs ont été pondus par des mouches parasites. Si ces œufs éclosent, les larves tuent les larves de la légionnaire.

Seuils d'intervention: Si 50 % des plants sont infestés par des larves mesurant moins de 2,5 cm (1 po) de long, l'utilisation d'un insecticide pourrait être justifiée. Éviter la pulvérisation d'un insecticide s'il y a un grand nombre de larves parasitées.

Stratégies de lutte: Si les larves ont presque atteint leur longueur maximale (environ 4 cm ou 1½ po), il n'y a aucun avantage à appliquer un insecticide, car la plupart des dommages dus à leur alimentation ont déjà été causés. En effet, l'utilisation d'un insecticide n'est efficace que lorsque les larves mesurent moins de 4 cm ou 1½ po de long. Voir la publication 812F du MAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour les recommandations sur les insecticides. Il est possible de restreindre le traitement aux zones infestées. Normalement, les parasites et d'autres organismes utiles empêchent les légionnaires de causer trop de dégâts. Éviter la pulvérisation d'un insecticide s'il y a de fortes populations de larves parasitées.

Légionnaire d'automne

Description: À son plein développement, la larve de la légionnaire d'automne mesure 4 cm (1½ po) de long; sa couleur varie de brun ou vert pâle à presque noir (voir planche 19, p. 325). Les larves ont trois minces rayures blanches le long du dos, ainsi qu'une large rayure jaune picotée rouge sur les côtés, juste au-dessus des pattes. On y observe également des taches noires ça et là appelées tubercules, dont sortent des épines. On distingue les larves de la légionnaire d'automne de celles de la légionnaire par le devant de leur tête, de couleur brun foncé et comportant un « Y » blanc inversé.

Cycle biologique: Une fois adultes, sous forme de papillons, les légionnaires d'automne migrent du sud des États-Unis vers le nord et se manifestent tard dans la saison, quand le maïs est parvenu à maturité. Ils ne peuvent pas hiverner là où la terre gèle.

Dommages: Dans les cultures fourragères, les dommages se manifestent normalement entre la fin de l'été et le début de l'automne. La légionnaire d'automne attaque occasionnellement les graminées telles que le maïs et le blé et s'alimente également de peuplements mixtes de luzerne et de graminées. Contrairement à la légionnaire uniponctuée, la légionnaire d'automne se nourrit le jour. Les premiers signes de dommages se manifestent par des feuilles ayant des trous déchiquetés et par la présence à proximité d'excréments brun rougeâtre. Les champs de pâturage présentent des sections brunies ou roussies et paraissent clairsemés; cela est dû aux légionnaires qui mangent les nouvelles feuilles. Les légionnaires d'automne peuvent s'en prendre à des pâturages ou des champs de foin vigoureux et les défolier entièrement, ne laissant que de courtes tiges sèches derrière elles. Les nouveaux peuplements de luzerne semés à l'automne sont les plus vulnérables à ce ravageur.

Seuils d'intervention: Si 50 % des plants sont infestés par des larves non parasitées mesurant moins de 2,5 cm (1 po) de long, l'utilisation d'un insecticide pourrait être justifiée.

Stratégies de lutte: Pour connaître les insecticides recommandés, voir la publication 812F du MAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Les légionnaires d'automne ont tendance à se déplacer d'un

champ à l'autre en groupes nombreux. Le cas échéant, il vaut mieux pulvériser le pourtour du champ infesté. **La lutte chimique n'est pas efficace sur les larves de plus de 2,5 cm (1 po) de long.** Normalement, les parasites et d'autres organismes utiles empêchent les légionnaires de causer trop de dégâts. Éviter la pulvérisation d'un insecticide s'il y a de fortes populations de larves parasitées. Les endroits enherbés à proximité des rangs périmétriques attirent les papillons nocturnes ovipares; par conséquent, il est conseillé d'éliminer les graminées fourragères et les mauvaises herbes des champs de maïs. La lutte contre les graminées adventices n'est peut-être pas une bonne solution tard dans la saison, car cela encourage les larves à migrer vers la culture.

Maladies

Flétrissure verticillienne

Incidence: La flétrissure verticillienne de la luzerne est une maladie dont l'incidence s'accroît à mesure que le peuplement vieillit. De ce fait, elle se manifeste principalement après la deuxième année de culture. On trouve le champignon responsable de cette maladie dans la plupart des régions du sud de l'Ontario. Il se peut que l'on observe dans les champs qui ont déjà été infectés par cette maladie des plants morts dans de jeunes peuplements (deuxième année). La flétrissure verticillienne peut réduire le rendement de 50 % et abréger la vie du peuplement.

Aspect: Au début, seulement quelques tiges sont touchées. Toutefois, les feuilles des plants infectés finissent par se flétrir, rouler vers l'intérieur et prendre une couleur orange-brun ou brun-havane (décoloré) (voir planche 95, p. 339). Dans les premiers stades de la maladie, les feuilles présentent un « V » jauni à l'extrémité des folioles. La croissance est souvent beaucoup retardée et les plantes finissent par mourir. Bien que toutes les feuilles puissent mourir, les tiges restent vertes. Le champignon pénètre le plant par la racine ou des tiges coupées et est propagé des vieux peuplements infectés vers les jeunes peuplements par le matériel de récolte, les insectes et le fumier. La maladie provoque le brunissement des tissus (vasculaires) des racines et des tiges. Pour observer ce phénomène, couper la tige.

Cycle biologique: Généralement, le champignon *Verticillium* pénètre le plant par les racines; il empêche les plants d'absorber de l'eau, ce qui entraîne leur flétrissement. Il hiverne dans les résidus de plants infectés et, par temps frais et humide, il produit de nombreuses spores sur les tissus infectés.

Stratégies de lutte: Le meilleur moyen de maîtriser cette maladie est d'utiliser des cultivars cotés résistants ou très résistants. Pour connaître les cotes des cultivars au regard de leur résistance à la flétrissure verticillienne, se référer à l'édition courante du rapport intitulé *Plantes fourragères — Comportement des variétés recommandées*, disponible dans n'importe quel centre de ressources du MAAARO et sur le Web (en anglais), à www.plant.uoguelph.ca/performance_recommendations/ofcc/ofcc.htm. Le traitement fongicide des semences permet de réduire les infections précoces. Pour connaître les fongicides recommandés, consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Le champignon se répand principalement par l'intermédiaire de la barre de coupe des instruments de récolte des fourrages. Avant la récolte, il faut nettoyer la barre de coupe à l'aide d'une solution de 1 % d'eau de Javel suivie d'un rinçage à l'eau claire et d'une pulvérisation d'huile. Il faut couper d'abord les champs les plus jeunes pour ensuite passer aux plus vieux. Récolter tôt peut limiter les pertes de rendement et de qualité, ainsi que ralentir la propagation du champignon d'un champ à l'autre. Attendre de deux à trois ans entre les récoltes de luzerne. Adopter un bon programme de lutte contre les mauvaises herbes, car certaines d'entre elles peuvent être utilisées comme hôte. Pour plus de renseignements, voir la fiche technique du MAAARO *La flétrissure verticillienne de la luzerne*, commande n° 89-028, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/facts/89-028.htm.

Pourridié phytophthoréen

Incidence: Le pourridié phytophthoréen est une maladie importante et courante de la luzerne. En Ontario, il se manifeste principalement dans les sols mal drainés ou les loams argileux lors de longues périodes pluvieuses.

Aspect: Comme la maladie se manifeste à mesure que les plants lèvent, les plantules y sont les plus vulnérables. Par contre, à mesure que le peuplement vieillit, le risque de pourridié diminue quelque peu. Les plantules touchées sont rabougries, poussent lentement à cause d'un système radiculaire réduit et

finissent par flétrir (voir planche 96, p. 339). La tige des plantules touchées est pincée ou annelée à la ligne de sol, ou frappées par la fonte des semis; les plantules peuvent verser et mourir. Les parties du champ qui sont infectées par la maladie forment souvent des plaques circulaires ou de forme irrégulière. La fonte des semis se présente surtout dans les sols lourds et mouillés par temps frais. Dans le cas des plantules plus âgées ou des plants établis, des lésions aqueuses brun rougeâtre peuvent être observées sur les racines. Lorsque l'infection est grave, les lésions peuvent devenir noires et la racine pivotante peut pourrir complètement. Comme le plant ne peut pas absorber d'eau et d'éléments nutritifs, il se flétrit et meurt. Au début, les feuilles inférieures sont jaunes et, à mesure que la maladie progresse, elles peuvent tourner au brun rougeâtre.

Cycle biologique: Le pourridié phytophthoréen est une maladie terricole susceptible d'endommager les racines ou de provoquer la mort des plants de luzerne. Le champignon survit en tant que spores à paroi épaisse (oospores) qui, au printemps, produisent des spores mobiles qui migrent vers les racines des plants et les infectent. L'eau joue donc un rôle important, car ces spores mobiles (zoospores) se déplacent dans l'eau pelliculaire entre les particules du sol. La maladie se propage lorsque la température se situe entre 21 et 32 °C (70–90 °F), par temps humide ou pluvieux. Les champs les plus vulnérables sont ceux qui sont compactés ou mal drainés. Comme la maladie se manifeste à mesure que les plants lèvent, les plantules y sont les plus vulnérables. Par contre, à mesure que le peuplement vieillit, le risque de pourridié diminue quelque peu. Le champignon est en mesure de survivre pendant de nombreuses années en tant qu'oospores dans le tissu des plants.

Stratégies de lutte: Dans les champs qui sont déjà infectés par le pourridié phytophthoréen, utiliser des cultivars très résistants et des traitements de semences. Pour connaître les cotes des cultivars au regard de leur résistance au pourridié phytophthoréen, se référer à l'édition courante du rapport intitulé *Plantes fourragères — Comportement des variétés recommandées*, disponible dans n'importe quel centre de ressources du MAARO. Pour connaître les traitements fongicides des semences recommandés, consulter la publication 812F du MAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Parmi les autres mesures de lutte contre cette maladie, il y a lieu de mentionner le maintien d'un sol fertile, ce qui favorise la croissance des radicelles, l'élimination de l'excès d'humidité par l'installation de drains agricoles, le compactage du sol au minimum, l'atténuation des facteurs de stress tels que la présence d'insectes défoliateurs et de mauvaises herbes, et la prévention des dommages mécaniques qui rendent les plants davantage vulnérables au pourridié phytophthoréen. La rotation des cultures a peu d'incidence sur la maladie. Pour plus d'information, consulter la fiche technique du MAARO, *Pourridié phytophthoréen de la luzerne*, commande n° 94-022, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/facts/94-022.htm.

Pourriture des semences, fonte des semis ou brûlure des plantules causées par Pythium

Incidence: La pourriture des semences, la fonte des semis et la brûlure des plantules causées par *Pythium* sont des maladies fongiques qui frappent la luzerne essentiellement en début de saison. L'infection des plants de luzerne survient le plus souvent entre le moment du semis et plusieurs semaines après la levée. Le champignon est présent dans la plupart des types de sols en Ontario.

Aspect: Les semences infectées peuvent pourrir et les jeunes plants de semis gravement atteints peuvent se flétrir, s'affaisser et mourir. Rechercher des lésions humides ou aqueuses sur les racines et l'hypocotyle des plants infectés. La tige des plantules touchés est pincée ou annelée à la ligne de sol ou frappée par la fonte des semis; les plantules peuvent verser et mourir. Les parties du champ qui sont infectées par la maladie forment souvent des plaques circulaires ou de forme irrégulière.

Cycle biologique: La pourriture des semences, la fonte des semis et la brûlure des plantules causées par *Pythium* sont semblables au pourridié phytophthoréen en ce sens qu'elles produisent des spores mobiles qui se déplacent dans l'eau pelliculaire entre les particules du sol et finissent par infecter les racines de luzerne.

Stratégies de lutte: Pour connaître les traitements fongicides recommandés, consulter la publication 812F du MAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. De plus, drainer tout excès d'humidité et éviter de compacter le sol. Semer quand le sol et les conditions météorologiques sont propices à la levée rapide et à la croissance précoce des plantules. Accroître les densités de peuplement pour compenser toute perte.

Anthracnose (luzerne) et anthracnose septentrionale (trèfle rouge)

Incidence: Dans le cas de la luzerne, l'anthracnose se manifeste principalement dans les parties de l'extrême sud-ouest de la province, tandis que l'anthracnose septentrionale, plus répandue, touche les champs de trèfle rouge. Les pertes de luzerne et de trèfle rouge dues à l'anthracnose peuvent atteindre les 25 %.

Aspect: Bien que les symptômes puissent se manifester tant sur la tige que les feuilles, c'est le collet qui subit les dommages les plus considérables. Sur la tige des cultivars résistants apparaissent de petites lésions noires de forme irrégulière. Les lésions sur les cultivars vulnérables, quant à elles, sont larges, déprimées et ovales ou en forme de losange. Ces lésions ont un centre dont la couleur varie de havane à jaune paille, bordé de brun foncé. Lorsque le champignon se reproduit, le centre des lésions apparaissant sur la tige des cultivars vulnérables renferme de petits organes de fructification noirs, visibles à l'œil nu ou avec une loupe. Dans le cas d'infections graves, les lésions se joignent et finissent par ceinturer complètement la tige, provoquant le flétrissement ou la mort de la tige. Les tiges et les feuilles (pousses) mortes deviennent blanches et ressemblent à un crochet. Comme ces symptômes sont observés ça et là dans les champs, on les confond souvent avec le rhizoctone commun, la pourriture fusarienne ou les dommages causés par la gelée.

Les dommages au collet se manifestent sous la forme de décoloration bleu-noir. Les plants touchés se brisent facilement à la base. Si le tissu affecté est d'un brun pâle, il s'agit tout probablement du rhizoctone commun ou de la pourriture fusarienne plutôt que de l'anthracnose (voir planche 97, p. 339). L'infection du collet réduit le nombre de tiges par plant et finit par tuer le plant.

Dans les champs de trèfle rouge, l'anthracnose septentrionale peut s'avérer très destructrice. En plus de la plupart des symptômes susmentionnés, la maladie peut entraîner le fendillement de la surface de la tige.

Cycle biologique: Ce champignon se développe lorsque le temps est frais et humide et survit dans les tiges, les feuilles ou les résidus malades. Les spores produites au printemps sont disséminées par la pluie. En effet, la pluie fait éclabousser les spores sur les plants sains. Le champignon peut se transmettre d'un champ à l'autre, par exemple par l'intermédiaire du matériel agricole, du sol et de l'érosion due à l'eau.

Stratégies de lutte: Des cultivars dont la résistance varie de moyenne à élevée sont disponibles. Nettoyer le matériel de récolte entre les champs. La rotation des cultures a connu peu de succès dans les luzernières, mais elle fonctionne mieux dans les champs de trèfle rouge, dont la résistance n'est pas la même.

Tache commune et tache leptosphaerulinienne (lepto) des feuilles

Incidence: Bien qu'on trouve ces deux maladies en Ontario, la tache commune est la plus destructrice des deux. Les taches des feuilles peuvent entraîner une défoliation précoce et réduire la qualité du foin, le rendement, la santé et la vigueur de la culture.

> On peut confondre les symptômes de la tache lepto à celles de la tache commune, car, souvent, elles débutent par de petits points noirs (de 1 à 2 mm) au centre havane ou brun. Normalement, les taches sont entourées d'un halo jaune. Contrairement aux taches communes, ces lésions finissent par se joindre et former des lésions plus grandes (voir planche 98, p. 339).

Aspect: Ces maladies se manifestent d'abord sur les feuilles inférieures et progressent de bas en haut. Les taches communes sont de petites taches rondes (de 1 à 2 mm de diamètre) dont la couleur varie de brun à noir. Ces lésions se joignent rarement. Souvent, le centre des lésions sur le dessus des feuilles est surélevé. Ces centres contiennent des organes de fructification (bosses) noirs facilement visibles à la loupe. En cas de doute, mettre quelques feuilles infectées dans un sac en plastique avec quelques feuilles d'essuie-tout mouillées. Cela permettra d'accélérer la production de ces organes de fructification. Les feuilles touchées jaunissent (feuilles chlorosées) et tombent prématurément.

Cycle biologique: Comme le temps frais et pluvieux favorise le développement des taches, on les trouve principalement sur les feuilles des premières coupes (printemps et début de l'été) et des repousses (automne). Les champignons pathogènes survivent dans les feuilles infectées et sur les feuilles mortes tombées au sol. Les spores produites sur les feuilles vivantes et mortes sont aéroportées. Les jeunes feuilles sont les plus vulnérables aux taches.

Stratégies de lutte: La récolte du fourrage faite en temps opportun est importante pour réduire les pertes de feuilles et réduire les attaques de la maladie

dans la repousse. Certains cultivars tolérant les taches communes sont disponibles, mais il ne semble pas exister de cultivar résistant ou tolérant aux taches lepto. Il existe peu de stratégies pratiques de lutte contre les taches des feuilles dans les fourrages. Comme les taches des feuilles peuvent réduire la teneur en protéines des feuilles de légumineuses, il est important d'établir le moment de la récolte en fonciton de la teneur optimale en protéines (stade du bouton de la luzerne) et de la progression de ces maladies.

Flétrissure bactérienne

Incidence: Historiquement, la flétrissure bactérienne est l'une des maladies les plus importantes des fourrages, non seulement en Ontario, mais partout où l'on cultive des fourrages. Grâce à la mise au point de cultivars résistants, cette maladie est moins courante.

Aspect: Les symptômes de la flétrissure bactérienne se manifestent à mesure que le peuplement vieillit (3 ans ou plus). Les plants infectés sont rabougris et de couleur jaune-vert. Lorsque l'infection est grave, les plants ont une tige fileuse et de petites feuilles déformées, tandis que les plants stressés par l'eau, la chaleur ou les deux se flétrissent ou meurent ça et là dans le peuplement. En fait, la maladie stresse le plant et accroît sa vulnérabilité à la destruction par l'hiver. En coupant transversalement la racine pivotante en deux, on peut observer une décoloration, variant de brun pâle à jaune, du tissu vasculaire près du pourtour.

Cycle biologique: Cette maladie causée par une bactérie du sol survit dans les racines de luzerne et les résidus de culture infectés pendant au moins dix ans. Elle pénètre les plants par les blessures sur les racines et le collet ou par les coupures sur les tiges. Comme la bactérie se développe dans les tissus conducteurs d'eau (système vasculaire) du plant, elle empêche ce dernier d'absorber de l'eau et des éléments nutritifs et le fait flétrir.

Stratégies de lutte: Tous les cultivars recommandés sont résistants à la maladie. Comme elle se répand par les blessures, il est conseillé de faucher d'abord les jeunes peuplements, moins vulnérables, pour ensuite passer aux plus vieux. Ne faucher les peuplements que si les plants sont secs. En effet, cela limite ou réduit la propagation éventuelle de la maladie des plants infectés aux plants sains. La bactérie peut se propager par les semences et le foin.

Pourridié dû à *Aphanomyces*

Incidence: L'incidence du pourridié dû à *Aphanomyces* a augmenté en Ontario ces dix dernières années, spécialement dans les sols lourds et mouilleux.

Aspect: Les symptômes du pourridié dû à *Aphanomyces* se manifestent tant sur les plantules que les vieux plants. Les plantules infectées sont rabougries, et certains de leur folioles et cotylédons sont jaunes. De plus, leurs racines et leurs tiges sont grises et aqueuses. Les plantules gravement atteintes tournent de brun pâle à brun foncé. Les plants plus âgés ou établis, quant à eux, sont rabougris et jaunes et leur système racinaire est réduit. On confond souvent ces symptômes avec ceux d'une carence d'azote. La repousse des plants infectés se fait lentement après la récolte et l'hiver.

Cycle biologique: Le champignon responsable survit dans le sol, sur des plants ou des résidus de culture infectés; il ne peut se propager que si le sol est saturé. Les conditions propices à son développement sont une température située entre 16 et 30 °C (61 et 86 °F) et un temps humide ou pluvieux. Les champs compactés ou mal drainés sont les plus vulnérables à la maladie. Comme la maladie se manifeste à mesure que les plants lèvent, les plantules y sont les plus vulnérables. Par contre, à mesure que le peuplement vieillit, le risque de pourridié diminue quelque peu.

Stratégies de lutte: La meilleure façon de lutter contre le pourridié dû à *Aphanomyces* est de semer des cultivars résistants. Comme les sols saturés favorisent la croissance de la maladie, l'amélioration du drainage et la réduction du compactage du sol réduit le risque d'infection.

Autres pourridiés (luzerne et trèfle rouge)

La présence de facteurs de stress comme les maladies foliaires, les insectes, les récoltes fréquentes ou faites au mauvais moment, les rigueurs de l'hiver et un pH du sol peu élevé augmentent la sévérité des dommages causés par les pourridiés (pourritures du pied et du collet). La présence de facteurs de stress pendant la saison de croissance rend les plants plus sensibles aux rigueurs de l'hiver. De bonnes pratiques culturales, en particulier un bon calendrier de récolte, et le maintien d'un bon niveau de fertilité et du pH approprié aident à réduire la gravité des dommages causés par la maladie. Il faut combattre les cicadelles dans la luzerne et éviter autant que possible d'endommager les collets avec le matériel. Les collets sont facilement abîmés par la machinerie et par le piétinement du bétail, surtout lorsque le sol est mouillé.

Autres problèmes

Destruction des fourrages par l'hiver

La destruction des peuplements de fourrages par l'hiver peut avoir des répercussions graves sur les exploitations d'élevage et nuire à la production de luzerne. En effet, elle peut faire diminuer la qualité des aliments pour le bétail, provoquer des pénuries, interrompre la rotation des cultures, et entraîner des coûts supplémentaires au chapitre de la reprise des semis. Dans le cas de la production de fourrages, il est parfois difficile d'optimiser les demandes concurrentielles liées à la qualité, au rendement et à la longévité. Les agriculteurs doivent déterminer la longévité souhaitée des fourrages et gérer les risques en conséquence.

Parmi les causes de destruction des fourrages par l'hiver, mentionnons :

- l'étouffement dû aux inondations ou à la formation d'une couche de glace;
- le déchaussement dû au cycle gel-dégel et au drainage inadéquat;
- les dommages aux racines causés par des températures basses;
- une fertilité médiocre;
- une mauvaise gestion du fauchage;
- les maladies et les insectes.

Certaines espèces de fourrage sont plus résistantes que d'autres. Les craintes de destruction par l'hiver concernent surtout la luzerne. Par exemple des légumineuses telles que le lotier corniculé, le trèfle rouge, le trèfle blanc sauvage et le trèfle d'Alsike tolèrent davantage les conditions hivernales que la luzerne et le trèfle ladino. Les graminées telles que la fléole, l'alpiste roseau, le pâturin et le brome sont peu vulnérables à la destruction par l'hiver. Par conséquent, semer une combinaison de ces types de fourrages constitue en quelque sorte une police d'assurance. Il est à noter que le dactyle pelotonné et le ray-grass vivace peuvent succomber aux accumulations de glace et aux températures basses.

On entend par endurcissement le processus de développement de la résistance au froid entraîné par le raccourcissement des jours et la chute des températures l'automne. Pendant ce processus, les plants emmagasinent des glucides dans leur collet et leur racine pivotante. L'amidon est par la suite converti en sucres, ce qui donne au plant une certaine protection contre la gelée. De plus, les plants perdent de l'eau cellulaire afin de réduire les dommages dus à la gelée. De longues périodes de temps frais, sec et ensoleillé à l'automne sont propices à l'endurcissement des plants en prévision de l'hiver.

Facteurs influençant la survie à l'hiver

Période critique de récolte d'automne pour la luzerne

Récolter avant la « période critique de récolte d'automne » permet aux plants de repousser et d'emmagasiner suffisamment d'énergie dans les racines pour être fin prêts l'hiver venu. La luzerne a besoin de ces réserves pour résister à l'hiver, pour accroître sa longévité, ainsi que pour assurer une croissance vigoureuse au printemps et obtenir un bon rendement à la première coupe. La période de récolte automnale critique dure environ six semaines et varie d'un endroit à l'autre. Voir la figure 5–4, *Début de la période critique de récolte d'automne pour la luzerne*, p. 202, pour connaître les dates pour chaque région. Si l'on récolte la luzerne au cours de cette période, on réduit ses chances de survie à l'hiver. Il s'agit donc de soupeser ce risque et les besoins immédiats en fourrage. Le rendement que l'on sacrifie en ne récoltant pas la luzerne au cours de cette période est habituellement facilement compensé par les gains de rendement à la première coupe l'année suivante.

Pour assurer la longévité et les rendements futurs, il ne faut pas récolter la luzerne au cours des six semaines qui suivent la date marquée pour chaque région.

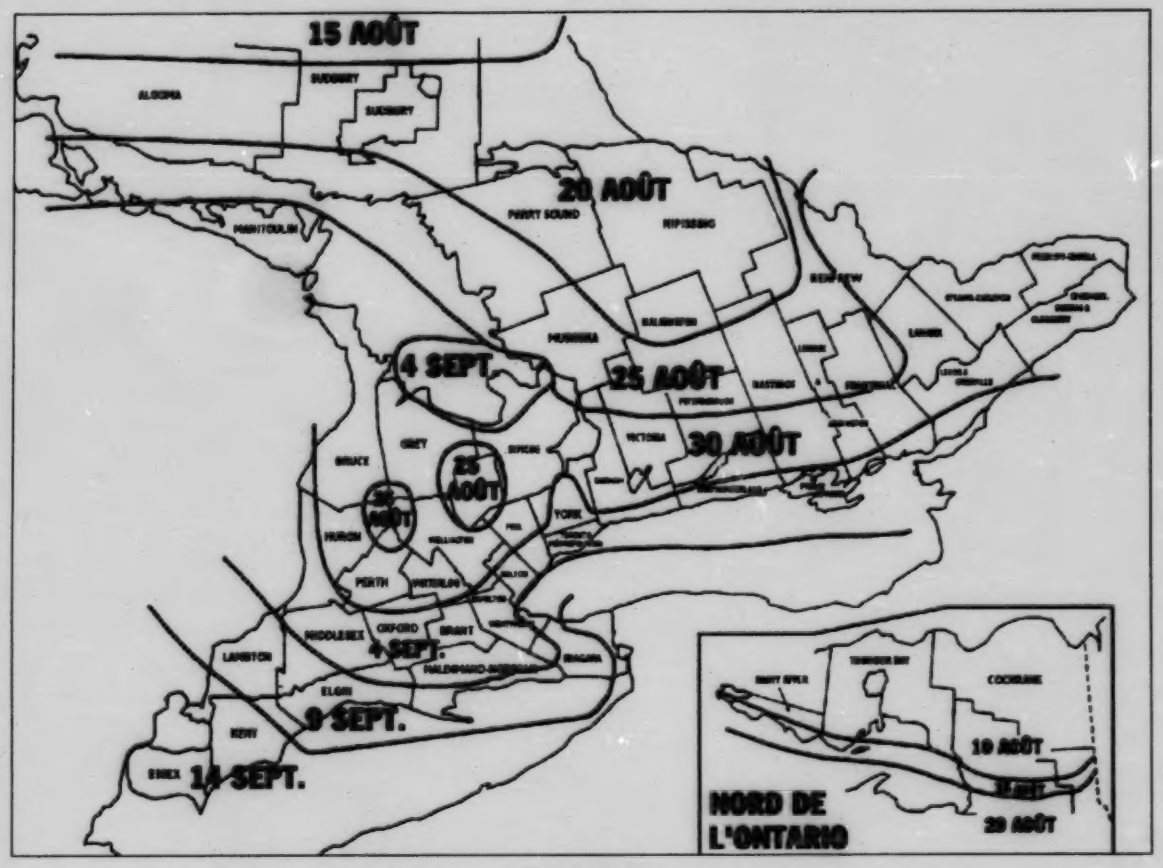


Figure 5–4.
Début de la période critique de récolte d'automne pour la luzerne

Cultivars de luzerne tolérants à l'hiver

Se référer au rapport intitulé *Plantes fourragères — Comportement des variétés recommandées*, disponible dans n'importe quel centre de ressources du MAAARO et sur le Web (en anglais), à www.plant.uoguelph.ca/performance_recommendations/ofcc/ofcc.htm. Des rendements élevés pour la luzerne à la troisième et à la quatrième années indiquent une longévité relative importante. Il s'agit d'une évaluation composite du nombre de caractéristiques de production, notamment le rendement et la résistance à l'hiver, au froid et à la maladie. En général, les cultivars cotés « résistants » ou « très résistants » à la maladie sont moins vulnérables à la destruction par l'hiver.

Couverture de neige

Une couverture de neige adéquate, c'est-à-dire d'au moins 15 cm (6 po), permet d'isoler le collet et les racines de la luzerne à une température modérée. Les sols qui ne sont pas couverts de suffisamment de neige peuvent en fait exposer le collet de la luzerne à des températures inférieures à –15 °C (5 °F). Cela endommage les cellules végétatives et les plants finissent par mourir. L'effet d'isolation créé par la neige permet également de réduire les fluctuations de température et les risques de déchaussement. L'hiver, les fluctuations de température, jumelées à des températures minimales sous le point de congélation et à des températures maximales supérieures à 5 °C (41 °F), sans couverture de neige, peuvent réveiller les plants et les rendre davantage vulnérables à la gelée.

Couche de glace

La rapide fonte des neiges suivie de températures froides entraîne la formation de couches de glace qui étouffent les plants en limitant l'oxygène qu'ils respirent. Comme elles sont peu isolantes, les couches de glace ne protègent pas du gel.

Repousse d'automne

Après une gelée d'automne dure, on peut faucher la luzerne sans que cela ait une incidence sur les réserves racinaires, mais cela comporte des inconvénients. Ne pas faucher la repousse d'automne permet à cette dernière d'attraper la neige, ce qui isole le sol des températures basses. Le chaume aide aussi les plants de luzerne à se protéger contre les couches de glace en perçant la glace, ce qui favorise la circulation de l'air et améliore la respiration. Contrairement aux graminées, la repousse d'automne de la luzerne ne favorise pas l'étouffement, comme c'est le cas des couches de glace.

Drainage du sol

Le drainage, tant superficiel que souterrain, du sol est essentiel à la survie de la luzerne l'hiver. Un déchaussement important se manifeste dans les sols lourds mal drainés, car la répétition du cycle gel-dégel fait ressortir la racine pivotante de la terre (voir planche 99, p. 339). Les plants qui ont été déchaussés de plus de 2,5 cm (1 po) sèchent, leur racine pivotante et leurs radicelles cassent, et leur collet est élevé. À la longue, ils meurent ou sont gravement rabougris. Le drainage superficiel est davantage important quand il s'agit de terrains plats, car, si le sol est gelé, l'eau ne peut pas s'écouler et forme des couches de glace.

Gestion du fauchage

Faucher souvent à courts intervalles stresse la luzerne et, par le fait même, réduit ses chances de survie à l'hiver et son potentiel de rendement à la première coupe l'année suivante. Réciproquement, attendre longtemps entre chaque fauchage reconstitue les réserves des plants et améliore leurs chances de survie à l'hiver. Certains producteurs mettent l'accent sur des peuplements à rendement élevé, fauchés souvent, de qualité supérieure et qui durent trois ans, car ils se soucient peu de la longévité de la luzerne. Un intervalle de moins de 35 jours entre les coupes accroît les risques de destruction par l'hiver. Permettre à la coupe finale de fleurir un peu avant la récolte afin d'assurer des réserves racinaires suffisantes peut s'avérer un compromis entre la qualité de la luzerne et sa survie à l'hiver.

Fertilité et pH du sol

Un faible taux de potassium dans le sol est l'un des principaux facteurs contribuant à la réduction des peuplements de luzerne, en particulier ceux semés dans des loams et des loams sableux. Le maintien d'un taux de potassium adéquat dans le sol permet à la luzerne d'emmagasiner suffisamment de glucides dans les racines afin de se protéger contre les dommages dus aux températures basses et de disposer d'une source d'énergie en prévision d'une croissance vigoureuse au printemps. On doit échantillonner le sol des champs de fourrages régulièrement et le fertiliser conformément aux recommandations. Il faut appliquer le fertilisant avant le début de la période critique de récolte d'automne afin de permettre aux plants d'absorber ce dont ils ont besoin.

Toutefois, il est à noter qu'une concentration de potassium élevée peut entraîner la consommation superflue du potassium par la luzerne et, subséquemment, des problèmes nutritionnels lorsque la luzerne sera servie aux vaches laitières avant qu'elles ne mettent bas. L'application de potassium aux sols dont la teneur est supérieure à 150 ppm n'améliore pas de façon considérable la résistance de la luzerne à l'hiver et, par conséquent, n'est pas conseillée.

Une carence de bore peut elle aussi mener au rabougrissement de la luzerne pendant les sécheresses de la mi-été. L'hiver, les plants ne sont pas aussi solides que d'habitude. Quant aux sols dont le pH est faible, on devrait ajouter de la chaux l'année précédant le semis (voir la rubrique *Fertilisation*, p. 174).

Lutte contre les insectes et les maladies

Des infections et des infestations graves qui nuisent à la vigueur du peuplement, abaissent les réserves racinaires et ralentissent la repousse diminuent les chances de survie à l'hiver. La lutte contre la cicadelle de la pomme de terre peut jouer un rôle important dans la réduction des dommages dus aux rigueurs de l'hiver, en particulier si elle est menée dans l'année de semis (voir la rubrique *Cicadelle de la pomme de terre*, p. 194).

Évaluation des chances de survie à l'hiver d'un peuplement de luzerne

Bien qu'il soit possible d'évaluer le rendement potentiel en observant un certain nombre de plants ou de tiges par mètre carré, il est extrêmement important de considérer la santé du collet et des racines. Les comptes de tiges sont plus exacts que les comptes de plants, mais, au début du printemps, la seule chose possible est parfois de compter les collets. Il faut être prêt à remplacer un vieux peuplement s'il contient moins de 43 plants/m^2 (4 plants/pi^2). Voir le tableau 5–16, *Minimum de plants sains par pied carré pour un bon peuplement de luzerne*, p. 204.

AUTRES PROBLÈMES

Tableau 5–16.
Minimum de plants sains par pied carré pour un bon peuplement de luzerne

	Nombre de plants	
	Plants par m^2	Plants par pi^2
Nouveau semis	215	20 +
1re année	129–215	12–20
2e année	86–129	8–12
3e année et plus	54	5

Déterrer plusieurs plants afin d'évaluer la santé du collet et des racines. Les collets sains sont larges et symétriques et comprennent de nombreuses pousses. Ouvrir une racine en la coupant sur le sens de la longueur. Les racines saines sont blanches ou crème à l'intérieur; elles sont dures à peler quand on les gratte avec l'ongle. Le collet et les racines des plants mourants sont décolorés et leur texture est plutôt spongieuse. Vérifier si les bourgeons ou les nouvelles pousses sont vigoureuses. Les plants dont la racine pivotante a été cassée à la suite d'un déchaussement peuvent verdir, mais ils finiront par mourir. Les plants légèrement déchaussés peuvent survivre, mais leur longévité et leur productivité sont réduites.

Quand la luzerne mesure environ 15 cm (6 po) de hauteur, on peut mesurer la densité du peuplement selon le nombre de tiges par mètre carré (ou pied carré). Une densité de tiges de 590/m^2 (55/pi^2) présente un bon potentiel de rendement (voir la figure 5–5, *Rendement potentiel de la luzerne pour divers comptes de tiges*, ci-dessus). Il pourrait y avoir des pertes de rendement si les comptes de tiges se situaient entre 431 et 539/m^2 (de 40 à 50/pi^2). Envisager de remplacer le peuplement s'il y a moins de 40 tiges/pi^2 et si la santé du collet et des racines est médiocre.

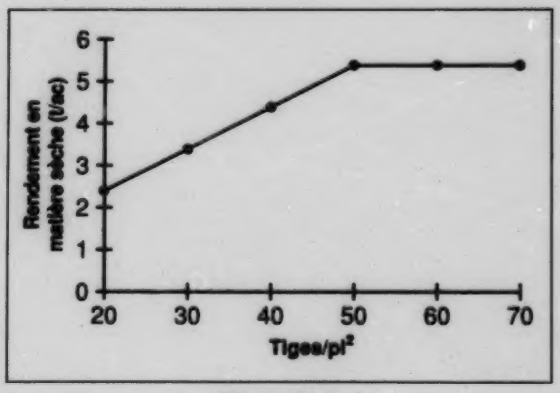


Figure 5–5.
Rendement potentiel de la luzerne pour divers comptes de tiges

Source : Undersander et Cosgrove, University of Wisconsin, 1992.

Parmi les autres éléments à prendre en note, il est digne de mentionner les besoins et les inventaires de fourrages, le semis d'autres types de fourrages, la quantité d'herbe laissée dans le peuplement, les exigences en matière de rotation et la pression exercée par les mauvaises herbes.

6. Céréales

En Ontario, les céréales couvrent environ 25 % de la superficie consacrée aux grandes cultures. Les cultures céréalières reçoivent souvent moins d'attention que celles du maïs ou du soya. Traditionnellement, les céréales sont cultivées en rotation avec d'autres cultures et comme source de fourrage produit à la ferme. Il est possible d'accroître la rentabilité des cultures céréalières en leur réservant une bonne gestion et en prêtant attention à certains détails.

Travail du sol

Méthodes de travail du sol

Les cultures céréalières ne réagissent pas beaucoup au travail du sol (voir le tableau 6–1, *Rendement du blé d'automne en fonction du système de travail du sol, 1986–1989*, ci-contre, et le tableau 2–3, *Effets du système de travail du sol sur le rendement des cultures à Woodstock (Ontario) (1996–2000)*, p. 19). Selon des recherches ayant comparé le rendement du blé d'automne soumis à diverses méthodes de travail du sol, aucune des méthodes suivantes ne semble présenter un avantage quelconque sur les autres : travail du sol à l'aide de la charrue à socs, travail réduit du sol et semis direct. Si les rendements ne sont pas beaucoup influencés par la méthode de travail du sol, un bon contact sol-semence et un taux d'humidité du sol propice à la germination sont par contre essentiels.

Le choix de la méthode de travail du sol aura des répercussions sur d'autres aspects du système cultural. On doit choisir la méthode en tenant compte de facteurs tels que la fertilité du sol, la pression exercée par les insectes, l'incidence de la maladie et la lutte contre les mauvaises herbes, de manière à s'assurer de cultures hautement performantes et rentables.

Le déchaussement par le gel et la moisissure des neiges comptent parmi les risques associés à un travail du sol plus intensif dans les cultures d'automne. L'érosion est à craindre dans toutes les cultures soumises à un travail du sol.

Les méthodes de semis utilisées dans les cultures de céréales vont du semis aérien au semis sur sol gelé.

Semis direct

Le semis direct est maintenant pratiqué dans la plupart des cultures de blé d'automne. Les rendements du blé en semis direct sont souvent équivalents aux rendements obtenus à l'aide des méthodes traditionnelles. Les semoirs à semis direct peuvent suivre la moissonneuse-batteuse dans le même champ, ce qui devance les dates de semis et augmente les rendements. Les céréales d'automne en semis direct résistent mieux au déchaussement par le gel, du fait que le plant est ancré dans un sol plus ferme.

Tableau 6–1.
Rendement du blé d'automne en fonction du système de travail du sol, 1986–1989

Méthode de travail du sol	Rendement comparatif[1]		N[bre] de comparaisons par paires
	t/ha	bo/ac	
Charrue à socs	4,90	72,9	141
c. travail réduit du sol	c. 5,01	c. 74,6	
Charrue à socs	3,93	58,4	42
c. semis direct	c. 3,90	c. 58,1	
Travail réduit du sol	4,23	63,0	111
c. semis direct	c. 4,19	c. 62,4	

Source : Tillage 2000 final report, Aspinall et Kachanoski.

[1] Les rendements moyens varient étant donné que les comparaisons sont faites en différents endroits.

Pour que le semis direct donne de bons résultats, il faut prêter attention à la gestion des éléments fertilisants, à la capacité du semoir et à la lutte contre les mauvaises herbes. Par comparaison aux cultures soumises à une méthode ou à une autre de travail du sol, les cultures soumises au semis direct réagissent davantage à l'application d'un engrais de démarrage, particulièrement s'il renferme du phosphore.

Les cultures en semis direct privées d'engrais de démarrage développent souvent le « syndrome du rang de maïs » (voir la rubrique *Fertilisation*, p. 219, ainsi que la planche 100, p. 339). Ainsi, des plants de blé qui poussent dans d'anciens rangs de maïs seront-ils beaucoup plus hauts et plus vigoureux que les plants qui poussent dans les anciens entre-rangs de maïs. Cette situation s'explique par la biodisponibilité accrue du phosphore provenant de l'engrais de démarrage qui avait été épandu en bandes dans le maïs, même si cela remonte à 2 ou 3 années auparavant (voir le tableau 6–2, *Syndrome du rang de maïs*, p. 206). Le blé d'automne est l'une des cultures qui réagit le plus aux engrais

Tableau 6–2.
Syndrome du rang de maïs

	Analyse de la teneur du sol en phosphore	Taille en cm (po)	Teneur des tissus en phosphore : % P (base de matière sèche)	Rendement en t/ha (bo/ac)
Sur le rang	19	107 (42)	0,16	5,13 (76,3)
Dans l'entre-rang	9	89 (35)	0,12	4,51 (67,1)
Un emplacement où 5 gal d'engrais liquide a été épandu sur le blé				
Sur le rang	18	109 (43)	0,17	5,02 (74,7)
Dans l'entre-rang	13	102 (40)	0,15	4,92 (73,2)

Avec 100 lb de phosphate monoammonique, aucune différence n'est perceptible à l'œil. Données recueillies en Ontario, à huit endroits, par le MAAARO.

phosphorés (voir le tableau 6–3, *Influence des doses d'engrais sur le rendement*, p. 207).

Le contact sol-semence est crucial pour l'assimilation de l'humidité. Les semoirs de semis direct doivent être en mesure de pénétrer dans le sol dur et de travailler à travers des résidus, afin que la semence soit positionnée avec précision. Des roues plombeuses (aussi appelées roues tasseuses) et des dispositifs tasseurs faits en plastique et ayant ni plus ni moins la courbe des bâtons de hockey peuvent être installés sur le semoir pour presser la graine dans le fond de la raie, ce qui améliore le contact sol-semence et assure une profondeur de semis plus uniforme.

Comme il est indiqué à la rubrique *Lutte contre les mauvaises herbes*, p. 229, la maîtrise des plantes adventices est primordiale dans le cadre du semis direct. On devrait procéder systématiquement à une destruction chimique avant les semis afin d'assurer une maîtrise du pissenlit et d'autres annuelles d'automne. Voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour connaître les recommandations sur la destruction chimique. Afin de réduire l'incidence de la maladie, traiter les semences à l'aide d'un fongicide. Pour plus d'information sur le traitement des semences, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Dans les sols secs, l'ajout ou l'utilisation de coutres peut présenter un intérêt si l'on pratique le semis direct. Un léger ameublissement des sols secs et durs facilite et accélère le développement des racines et la croissance. Lors d'automnes pluvieux, un léger travail du sol peut accélérer l'assèchement du sol et permettre d'effectuer les semis dans de meilleures conditions. Il s'agit de recourir à ces méthodes de travail réduit du sol lorsque les conditions l'imposent. Il est important de veiller à bien préparer le lit de semence et de s'assurer que les semis se font le plus rapidement possible.

Méthode traditionnelle

Des générations de producteurs ont employé la charrue à socs, les disques et le cultivateur pour préparer les lits de semence destinés à la culture des céréales. La plupart des cultures de céréales de printemps sont encore soumises aux méthodes traditionnelles de travail du sol. Même si ces méthodes fonctionnent bien, le fait qu'elles exposent davantage les sols à l'érosion et le fait que le travail du sol n'a pas d'effet sur les rendements ont incité les producteurs à se tourner vers les méthodes de travail réduit du sol. Dans le cadre des méthodes traditionnelles, les directives ayant trait au contact sol-semence, au milieu humide à offrir à la semence et à la précision de la profondeur des semis sont les mêmes que celles qui sont indiquées à la rubrique *Semis direct*, p. 205. La différence entre les deux systèmes culturaux vient de ce que le travail du sol se trouve remplacé par la destruction chimique.

Semis sur sol gelé des céréales de printemps

L'ensemencement des céréales de printemps sur un sol gelé est une technique relativement nouvelle en Ontario qui permet de devancer considérablement les dates de semis et éventuellement d'accroître les rendements. Cette stratégie a été largement mise à l'épreuve et avec succès dans d'autres régions de l'Amérique du Nord.

On entend par « semis sur sol gelé » l'ensemencement des céréales dans un sol légèrement gelé au début du printemps. Une fois que la neige a fondu et que le sol n'est plus gelé en profondeur, il y a encore souvent en réserve plusieurs nuits froides où les températures tombent sous le point de congélation. Il est possible de semer dans cette mince couche de gel, étant donné que le gel supporte le poids du tracteur et évite le compactage ou l'orniérage. Il n'est pas essentiel de refermer la raie lorsqu'on sème sur sol gelé, étant donné que le sol retombe naturellement en place et

Tableau 6–3.
Influence des doses d'engrais sur le rendement

		Phosphate monoammonique kg/ha (lb/ac)			En pleine surface kg/ha (lb/ac)
	Aucun engrais	56 (50)	112 (100)	224 (200)	224 (200)
Rendement moyen : t/ha (bo/ac)	5,27 (78,4)	5,56 (82,7)	5,67 (84,4)	5,66 (84,2)	5,39 (80,2)

(Moyenne établie à partir de 12 sites, 2001)

couvre la semence dès que le sol dégèle. Il s'agit pour l'opérateur de régler le semoir de manière à ce que celui-ci trace une raie peu profonde (de 2,5 cm ou 1 po) et tasse la graine dans le fonds de la raie.

La plage offerte pour pratiquer cette méthode de semis est de courte durée. Le gel ne donne généralement pas une surface suffisamment dure avant 2 à 4 h du matin et a par ailleurs complètement disparu dès 8 ou 10 h le matin. **Ne pas pratiquer cette méthode de semis lorsque les températures de l'air tombent à – 8 °C.** Le sol est alors trop dur et risque d'endommager le semoir de semis direct.

Malgré le fait que le laps de temps où il est possible de pratiquer cette méthode est court et que l'occasion risque de ne pas se présenter tous les ans, il n'en reste pas moins que cette méthode de semis hâtifs peut donner des augmentations de rendement allant jusqu'à 25 %.

Semis aérien du blé d'automne

Dans les régions de saison courte, ou lorsque le temps est pluvieux en fin de saison, envisager de procéder à des semis aériens. Les semis aériens donnent un maximum de résultats lorsqu'ils sont faits avant que les plants de soya n'aient perdu 10 % de leurs feuilles. Les feuilles de soya tombées au sol offrent une certaine protection et contribuent à retenir l'humidité dans le sol pour favoriser la germination du blé.

Les semis aériens donnent généralement des résultats décevants. La semence est extrêmement vulnérable aux dommages faits par les limaces. Les limaces se nourrissent en effet du germe du grain, ce qui peut décimer le peuplement, surtout dans les tournières. À première vue, la graine semble reposer normalement à la surface du sol, comme si elle attendait de germer, mais en y regardant de plus près, on s'aperçoit que le grain a été endommagé. On peut remédier en partie à ce problème en réensemençant les tournières après la récolte du soya.

Les semis aériens donnent un système racinaire superficiel, donc plus vulnérable au déchaussement et aux dommages causés par le vent (voir la rubrique *Profondeur de semis*, p. 213). Au printemps, les plants de blé sont souvent attachés au sol uniquement par un poil absorbant. Si ce poil absorbant brise sous l'effet des mouvements de torsions imposés au plant par le vent, le plant meurt. Selon les données provenant d'essais à petite échelle effectués à la ferme, compte tenu de ces risques inhérents, les rendements du blé semé par aéronef seraient généralement de 10 % inférieurs à ceux du blé semé à l'aide d'un semoir à céréales. Les semis aériens ne constituent donc pas une méthode à privilégier, sauf lorsque les conditions le réclament. Il faut alors augmenter le taux de semis de 4,9 millions de graines/ha (2 millions de graines/ac), afin de compenser la réduction de la densité de peuplement.

Semis à la volée

Afin d'accélérer les semis, on peut semer à la volée les céréales d'automne et de printemps. Il est par contre important de veiller à qu'il y ait un bon contact sol-semence et à ce que le taux de semis soit uniforme à la grandeur de la surface ensemencée et d'un passage à l'autre du pulvériseur.

Utiliser des unités de distribution à air pour obtenir un semis uniforme. Travailler le champ à faible profondeur (7,5 cm ou 3 po), par deux passages perpendiculaires, suivis d'un passage des rouleaux. Cette façon de procéder évite la formation de bigarrures dans les semis et améliore le contact sol-semence.

Cette méthode ne donne pas une profondeur de semis uniforme. Il s'ensuit donc souvent une variation dans la maturité et une réduction de 5 à 10 % du rendement. Si l'on effectue les semis à la volée, augmenter les taux de semis de 10 % pour compenser les risques de variabilité.

Choix du cultivar

Les principes qui sous-tendent le choix d'un cultivar gagnant ne varient pas beaucoup d'une culture à l'autre. Les facteurs confusionnels dans le choix d'un cultivar de blé sont la qualité et la classe. Il pousse plus de types de blé en Ontario que dans n'importe quelle autre province ou dans n'importe quel État du nord-est de l'Amérique du Nord.

À l'avenir, des facteurs de qualité pourront être liés à l'avoine, si le marché de l'avoine de meunerie prend de l'expansion. L'orge peut connaître des primes à la qualité si un marché pour l'orge de brasserie prend de

l'expansion dans la province. À l'heure actuelle, des primes ne sont versées que pour le blé.

Critères habituels de sélection des cultivars

- Utiliser toutes les sources d'information disponibles. Il y a en place un excellent système d'évaluation du rendement des cultures céréalières. Cette information est disponible dans les fiches techniques que le MAAARO produit annuellement et qui sont accessibles sur le site http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/index.html. On peut également prendre connaissance de la comparaison des cultivars faite par l'*Association pour l'amélioration des sols et des cultures de l'Ontario* aux termes d'essais à la ferme effectués en Ontario sur le site Web www.ontariosoilcrop.org.
- Choisir deux ou trois des meilleurs cultivars sur le marché. Il est toujours prudent de ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier. Le choix de différents cultivars réduit les risques de maladies et permet de répartir la charge de travail au moment des récoltes.

Comparer les cultivars sur les plans du potentiel de rendement, de la résistance à la verse, de la tolérance aux maladies et de tous les autres facteurs agronomiques. Cerner les principaux problèmes à surmonter à la ferme et choisir les cultivars en conséquence.

Choisir des cultivars qui sont adaptés aux conditions de croissance de la ferme. Se référer au tableau des caractéristiques des cultivars présenté dans la fiche technique Ontario Performance Trials disponible sur le site Web http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crops.

Comparer le rendement des cultivars en utilisant des données recueillies sur plusieurs années et provenant de divers sites. Souvent, des cultivars qui fournissent une performance extraordinaire sous certaines conditions environnementales une certaine année, souffrent considérablement des conditions environnementales de l'année suivante. Par exemple, le cultivar d'avoine qui pousse sans rouille une année peut donner la pire performance l'année où la rouille se manifeste tôt en saison. L'utilisation de données à long terme provenant de différents endroits permet de choisir le cultivar au rendement stable le meilleur.

Dormance du blé d'automne

La dormance, ou la résistance à la germination sur pied, varie beaucoup d'un cultivar à l'autre. Plusieurs gènes sont responsables du facteur de dormance du blé. L'un des gènes les plus déterminants est lié au code génétique du blé roux ou à la coloration rouge du son. En général, les cultivars de blé roux résistent mieux à la germination sur pied que les cultivars de blé blanc, et souvent, les cultivars de blé vitreux roux résistent mieux à la germination sur pied que les cultivars de blé tendre roux.

Par le passé, les cultivars de blé barbu blanc étaient très sensibles à la germination sur pied. Cependant, grâce à des améliorations génétiques, certains cultivars de blé barbu blanc (p. ex. 25W33) affichent maintenant une tolérance à la germination sur pied à peu près égale à celle des cultivars de blé tendre roux reconnus pour leur tolérance (p. ex. Mendon). On peut s'attendre à ce que soient un jour mis au point des cultivars de blé blanc qui afficheront une tolérance à la germination sur pied presque aussi grande que celle des cultivars actuels de blé vitreux roux.

La tolérance à la germination sur pied ne doit pas être confondue avec la germination de la culture une fois mise en terre. La dormance dépend du temps, de la lumière et de la température. Lorsque la céréale est semée à l'automne, il s'est écoulé du temps, de telle sorte que les jours sombres et les conditions fraîches de la terre l'emportent sur les facteurs de dormance.

La vitesse de levée après les semis est entièrement liée à la vigueur de la semence du cultivar et du lot de semence. La levée n'a rien à voir avec la tolérance à la germination sur pied. En fait, lors d'essais de rendement des cultivars, certains cultivars de blé tendre roux lèvent avant des cultivars de blé tendre blanc.

C'est donc un mythe de croire que les cultivars de blé roux doivent être semés à l'automne avant les cultivars de blé blanc.

Facteurs uniques aux cultures de céréales

Paille

Dans certaines régions d'élevage, la paille peut être presque aussi en demande et avoir presque autant de valeur que le grain. La qualité de la paille est donc également un facteur. Sa capacité d'absorption de l'humidité est une caractéristique recherchée pour la plupart des litières d'animaux d'élevage. L'industrie des chevaux ne s'intéresse qu'à la paille exempte de poussières. La paille est l'une des principales raisons pour lesquelles les éleveurs continuent de faire pousser de l'orge plutôt que du blé de printemps, dont la culture est plus avantageuse sur le plan économique.

En général, les cultivars d'orge à deux rangs produisent plus de paille que les cultivars à six rangs. La qualité et la quantité de paille fournie par l'avoine sont bonnes. La paille de blé est moins absorbante que la paille d'avoine ou que la paille d'orge, et la

Tableau 6–4.
Caractéristiques de diverses classes de céréales

Classes	Propriétés et usages	Caractéristiques
Blé tendre blanc d'automne	Blé de qualité pâtissière Faible teneur en protéines Rendement élevé	Sensible à la germination sur pied Ne pas épandre trop d'azote
Blé tendre roux d'automne	Blé de qualité pâtissière Faible teneur en protéines Rendement élevé	Ne pas épandre trop d'azote
Blé de qualité non pâtissière (blé vitreux roux d'automne)	Mélange de blé panifiable Teneur élevée en protéines souhaitable Tendance à offrir un rendement inférieur à celui des meilleurs cultivars de blé tendres	Besoin de plus d'azote Qualité plus variable
Cultivars de blé de spécialité d'automne	Variables	Doit être gardé et identifié par cultivar
Cultivars de blé de meunerie de printemps	Mélange de blé panifiable Teneur élevée en protéines Faible rendement	Paille médiocre Prix élevé
Cultivars de blé fourrager de printemps	Fait parfois partie du marché des mélanges panifiables Teneur élevée de protéines Rendement moyen	Paille médiocre
Orge d'automne	Rendement élevé Faible rusticité hivernale Faible résistance à la verse	Semer tôt Battage parfois difficile
Orge à six rangs	Bonne paille Plus grande tolérance à la chaleur Plus grande tolérance aux semis tardifs	Échantillon de grain moins intéressant Ne pas épandre trop d'azote
Orge de printemps à deux rangs	Excellente paille Bon volume de paille	Ne pas épandre trop d'azote
Avoine	Bonne paille	Tolère les sols mal drainés

plupart des cultivars de blé de printemps produisent moins de paille que les cultivars d'orge de printemps.

Les producteurs qui ont besoin de paille et y accordent de l'importance peuvent aussi améliorer sa qualité en utilisant des fongicides destinés à maîtriser les maladies. L'utilisation de fongicides est particulièrement importante pour fournir une paille exempte de poussières à l'industrie des chevaux. Choisir l'orge d'automne pour de meilleurs rendements en paille d'orge si cette orge pousse dans une zone où la survie hivernale ne cause pas de problème.

Quantité de paille

Les cultures qui suivent sont présentées par ordre décroissant de production de paille :

1. blé d'automne
2. orge d'automne
3. orge de printemps à deux rangs
4. céréales mélangées
5. avoine de printemps
6. orge de printemps à six rangs
7. blé de printemps

Qualité de la paille

La liste suivante présente les cultures classées par ordre décroissant de qualité de paille :

1. orge de printemps à deux rangs
2. orge de printemps à six rangs
3. céréales mélangées
4. avoine de printemps
5. orge d'automne
6. blé de printemps
7. blé d'automne

Classes

Le nombre de classes de blé continue de s'accroître (voir le tableau 6–4, *Caractéristiques de diverses classes de céréales*, ci-dessus). Au milieu des années 1980, alors que seuls le blé de printemps destiné au bétail et le blé tendre blanc d'automne étaient cultivés en Ontario, le marché s'est ouvert à beaucoup plus de classes. Les classes de blé risquent fort de continuer à se multiplier et à inclure les nouveaux blés de spécialité et les cultivars de blé vitreux blanc de printemps actuellement mis au point. À bon nombre

Tableau 6–5.
Primes accordées pour la teneur en protéines des cultivars de blé vitreux roux d'automne et de blé de printemps

Pourcentage de protéines (%)	Prime ($/tonne)
Primes accordées pour la teneur en protéines du blé vitreux roux d'automne (selon le marché de l'année 2001[1])	
10,9 ou moins	sans prime
11,0	5
11,1	6
11,2	7
11,3	8
11,4	9
11,5	10
11,6	11
11,7	12
11,8	13
11,9	14
12,0 ou plus	15
Primes accordées pour la teneur en protéines du blé de printemps (selon le marché de l'année 2001[1])	
11,9 ou moins	absence de prime
12,0 à 12,4	10
12,5 ou plus	18

[1] Les primes les plus récentes sont indiquées sur le site Web de la Commission ontarienne de commercialisation du blé : www.ontariowheatboard.com/.

de ces classes sont associés des rendements et des primes dont il faut tenir compte au moment de choisir les cultivars. Ainsi, quand on opte pour des cultivars de blé de qualité non pâtissière qui renferment une forte teneur en protéines, on doit savoir que la teneur plus élevée en protéines s'obtient au détriment du rendement qui est alors d'environ 10 % moins élevé. Par contre, ces cultivars ouvrent droit à des primes (voir le tableau 6–5, *Primes accordées pour la teneur en protéines des cultivars de blé vitreux roux d'automne et de blé de printemps*, ci-dessus). Il est beaucoup plus facile pour les producteurs dont les sols contiennent plus d'azote (c.-à-d. les fermes d'élevage produisant du fumier et/ou du fourrage) de produire du blé offrant une forte teneur en protéines et de se garantir ainsi de toucher des primes. Sur les terres destinées aux cultures commerciales, il faut souvent nettement plus d'azote pour obtenir les teneurs en protéines optimales des cultivars de blé de qualité non pâtissière (voir l'article *Fertilisation*, p. 219). Tous les facteurs mentionnés doivent être pris en compte au moment du choix d'un cultivar.

En 2001, la prime offerte pour les cultivars de blé vitreux roux d'automne était d'environ 10 $ de plus la tonne que pour les cultivars de blé tendre d'automne.

Espèces céréalières

Orge

Tous les types d'orge ont le potentiel génétique de développer six rangs de grains par épi (orge à six rangs). L'orge à deux rangs ne développe que deux des six rangs. En général, les cultivars à deux rangs ont des grains plus gros, sont plus petits et résistent mieux à la verse, à la rouille des feuilles et au mildiou. Les cultivars à deux rangs ont souvent une maturité plus tardive et un rendement moins élevé que les cultivars à six rangs. Les cultivars à six rangs résistent habituellement mieux à la tache pâle, supportent mieux la chaleur et l'humidité, ce qui les rend plus tolérants à un semis tardif. À cause de leur couvert plus clair, les types à six rangs entrent moins en concurrence avec le sous-semis. Par ailleurs, la résistance à la verse des types à deux rangs doit être prise en considération lorsqu'on établit un sous-semis.

Orge d'automne

Autant l'orge de printemps que l'orge d'automne poussent en Ontario. L'orge d'automne requiert une période de températures froides pour subir une vernalisation et entreprendre la floraison et le développement des grains. L'orge d'automne semée au printemps ne produira pas de grains. L'orge de printemps ne requiert pas cette vernalisation.

L'orge d'automne donne un rendement beaucoup plus élevé que celui de l'orge de printemps mais affiche une rusticité hivernale beaucoup moindre que celle du blé d'automne. L'orge d'automne survit seulement dans les zones où les hivers sont plus doux ou dans les zones qui bénéficient d'une bonne couche de neige. L'orge d'automne doit être semée plus tôt que le blé d'automne, ce qui le rend plus vulnérable au virus du nanisme jaune de l'orge et à la moisissure des neiges. L'orge d'automne mûrit beaucoup plus tôt que le blé d'automne, et certaines années, on peut compter sur une double récolte. Dans les zones aptes à produire de l'orge d'automne, la production peut être aussi élevée que 8,1 t/ha (150 bo/ac).

Orge à grains nus

L'orge couverte ou l'orge vêtue est constituée d'environ 10 % d'enveloppe et de 90 % d'amande. Avec les types d'orge à grains nus, une bonne partie

de l'enveloppe se décolle au moment de la récolte. Comparativement à l'orge vêtue, l'orge à grains nus a un poids spécifique plus élevé et une teneur en fibres plus faible. Les semences doivent être manipulées avec soin, puisque l'embryon (le germe) est fragile. La quantité de balle enlevée du grain dépend quelque peu des conditions climatiques au moment de la récolte. L'orge à grains nus donne un rendement moins élevé que ceux des cultivars vêtus étant donné que les enveloppes restent dans le champ; par contre elle offre des concentrations d'énergie et de protéines plus élevées.

Avoine

L'avoine est une culture fourragère traditionnelle en Ontario qui sert notamment à l'alimentation des chevaux. L'avoine a une teneur plus équilibrée en protéines et une teneur en fibres plus élevée que l'orge. Dans l'est de l'Ontario, où le nerprun est très répandu, la rouille des feuilles cause problème à la culture de l'avoine, d'où l'importance de choisir des cultivars résistants. Il faut dans la mesure du possible éliminer le nerprun sur le pourtour des champs.

Avoine de meunerie

Comme elle est destinée à la consommation humaine, l'avoine de meunerie doit satisfaire à des exigences spéciales de qualité dont grains ventrus, poids spécifique élevé et amande exempte de décoloration et de matières étrangères tels qu'insectes et graines de mauvaises herbes et d'autres cultures.

Avoine nue

L'avoine nue peut être intéressante pour les éleveurs de porcs et de volaille, car l'amande contient sensiblement la même énergie métabolisable que celle du maïs. L'avoine nue possède également une teneur élevée (14–20 %) en protéines de bonne qualité. Il est possible de formuler des rations dont l'avoine nue constitue la principale source d'énergie. Il suffit alors d'ajouter de faibles quantités de tourteau de soya ou de canola ou de la lysine (un acide aminé) pour obtenir un rendement comparable à celui d'une alimentation à base de tourteau de maïs-soya.

L'avoine nue devient du gruau au battage. Les fines enveloppes restent en balles dans le champ, ce qui fait perdre aux grains d'avoine de 25 à 30 % de leur poids par rapport aux cultivars ordinaires qui conservent leur enveloppe. Les cultivars actuels possèdent une couche de poils fins sur l'amande, qui empêchent l'avoine de s'écouler librement. Ces poils causent des démangeaisons, ce qui rend l'avoine désagréable à manipuler. Des recherches sont en cours pour mettre au point une avoine « nue » qui serait débarrassée autant de l'enveloppe que des poils au moment de la récolte.

L'avoine nue est cultivée comme de l'avoine vêtue, mais pour obtenir de bons résultats il faut porter une attention spéciale aux étapes du semis, de la récolte, de la manipulation et de l'entreposage des grains. Étant donné que l'enveloppe ne protège pas le grain, le pouvoir germinatif est facilement réduit. Il faut redoubler de précautions au moment des semis. La récolte et la manipulation peuvent endommager l'embryon. La grande concentration d'huile qui se trouve à la surface du grain attire par ailleurs les insectes d'entrepôt. Maintenir le taux d'humidité au-dessous de 10 %, afin que le grain conserve sa qualité pendant l'entreposage.

Céréales mélangées

Les mélanges de céréales occupent une superficie importante en Ontario. La plupart sont composés d'avoine et d'orge, bien que les mélanges puissent comprendre du blé de printemps ou des pois de grande culture. Les mélanges de céréales sont destinés uniquement à l'alimentation animale.

On ne peut formuler de recommandations quant aux meilleurs mélanges. En général, les cultivars d'avoine et d'orge qui donnent les meilleurs rendements lorsqu'ils sont semés en peuplements purs font de même en mélanges. On doit veiller à ce que les éléments du mélange soient compatibles sur les plans de la hauteur et de la maturité. L'ajout de blé ou de pois au mélange augmentera les teneurs en énergie et en protéines du grain, mais entraîne souvent une réduction considérable des rendements.

Les maladies des feuilles et des épis sont habituellement beaucoup moins graves dans les cultures de grains mélangés que dans les cultures d'avoine ou d'orge cultivées en peuplements purs. Les cultures d'avoine et d'orge mélangées tolèrent mieux les conditions de drainage variables du fait que les cultures sont favorisées par des conditions différentes. Ainsi, la composante qui prédomine est l'orge dans les zones plus sèches du champ et l'avoine dans les zones mal drainées.

Blé d'automne

Le blé d'automne occupe la superficie la plus vaste de toutes les cultures céréalières et est cultivé presque partout en Ontario. Tout comme l'orge d'automne et le seigle d'automne, le blé d'automne a besoin d'une vernalisation, c.-à-d. d'une période passée à des températures froides (0–5 °C ou 32–41 °F), qui

l'amène à pousser, à épier, à fleurir et à produire des grains. Même si le blé subit avec succès une vernalisation au stade 5 feuilles, la vernalisation peut s'accomplir aussitôt que commence la germination. Ainsi, le blé d'automne peut être semé à tout moment à l'automne jusqu'aux gelées et avoir dans la plupart des cas, des épis l'année suivante. Le blé d'automne semé au printemps ne parviendra pas au stade reproductif puisqu'il n'aura pas subi la vernalisation. Il arrive que le blé d'automne soit semé au printemps pour donner l'aspect d'une pelouse qui n'a presque jamais besoin d'être coupée.

L'économie de l'Ontario profite des prodigieuses retombées économiques du blé, dont la transformation augmente de 400 % sa valeur économique. Cette augmentation de valeur est la plus importante que connaissent les matières premières agricoles.

Blé de printemps

Blé fourrager

Le blé fourrager est une source plus concentrée de protéines et d'énergie pour les animaux d'élevage que ne le sont l'orge ou l'avoine. Il faut limiter la quantité de blé fourrager dans la ration alimentaire des non-ruminants pour éviter les problèmes digestifs. En général, le blé ne doit pas dépasser plus de 25 % de la ration totale. Pour plus d'information, consulter un ou une nutritionniste.

Certains cultivars de blé fourrager peuvent donner des rendements semblables à ceux de l'avoine et de l'orge de qualité fourragère. Parfois, ces cultivars peuvent atteindre une qualité leur permettant d'accéder au marché du blé de meunerie. Vérifier auprès d'un fournisseur de céréales ou auprès de la Commission ontarienne de commercialisation du blé pour vérifier si un cultivar est habituellement de qualité meunière ou fourragère. Lorsque des cultivars de blé fourrager produisent une qualité meunière, il y a lieu de se réjouir, mais non d'en faire une attente.

Blé de meunerie

Pour que le produit soit accepté sur le marché, il faut miser sur sa qualité, ce qui oblige à accorder de l'attention aux points suivants : choix du cultivar approprié, semis hâtif et lutte efficace contre les mauvaises herbes. Les cultivars de blé de printemps ont habituellement un couvert très clair, d'où l'importance de renforcer la lutte contre les mauvaises herbes. Ce couvert clair fait que les cultivars de blé de printemps se prêtent très bien à un sous-semis de céréales.

Seigle

Les types de seigle à la fois de printemps et d'automne sont cultivés et disponibles en Ontario. Généralement, le seigle d'automne est cultivé dans les sols sableux légers qui servent à la culture du tabac et aux cultures maraîchères, afin de prévenir l'érosion éolienne et enrichir le sol de matières organiques. Le seigle de printemps est parfois cultivé comme culture fourragère annuelle. Contrairement aux autres cultures céréalières, le seigle est assez sensible à l'ergot, ce qui nuit à son utilisation comme aliment destiné aux animaux ou aux humains.

Le seigle d'automne est la plus rustique de toutes les céréales d'automne. Il est très précoce et vient à maturité bien avant le blé ou l'orge d'automne. Par contre, étant donné qu'il est incroyablement difficile à battre, même s'il parvient à maturité tôt, sa récolte ne se fait que bien après celles du blé ou de l'orge. On laisse ainsi le temps à la paille de se détériorer un peu, ce qui facilite le battage.

Certains producteurs, voulant obtenir un fourrage supplémentaire, ont commencé à semer du seigle d'automne après la récolte du maïs. Ce seigle commence à épier vers la mi-mai du printemps suivant, moment où il est coupé et envoyé à l'ensilage préfané. Les haricots comestibles ou le soya sont alors semés sans que le retard amené par la culture du seigle n'ait de répercussions tangibles sur les rendements. Les dangers de cette pratique comprennent les effets allélopathiques probables des résidus du seigle et la possibilité d'avoir une repousse de seigle dans les cultures de blé de l'année suivante.

Triticale et épeautre

La triticale aussi bien que l'épeautre sont cultivés à petite échelle en Ontario. Lorsque les prairies de fauche sont détruites par l'hiver, la triticale, un croisement entre le blé et le seigle, est cultivée comme culture fourragère d'urgence, généralement conjointement avec les pois (voir la rubrique *Graminées annuelles de saison chaude*, p. 163). L'épeautre, un précurseur du blé moderne, est cultivée principalement selon des techniques de culture biologique et est destinée aux lucratifs marchés de spécialité.

Biotechnologie

La plupart des plantes cultivées sont diploïdes, c.-à-d. qu'elles ont une paire de chaque chromosome. L'orge et l'avoine sont diploïdes. Le blé est hexaploïde, puisqu'il a trois paires de chaque chromosome, ce qui a rendu beaucoup plus difficile le transfert génique dans le blé. Aussi, la marge de profit liée à la production de semences et à l'amélioration génétique

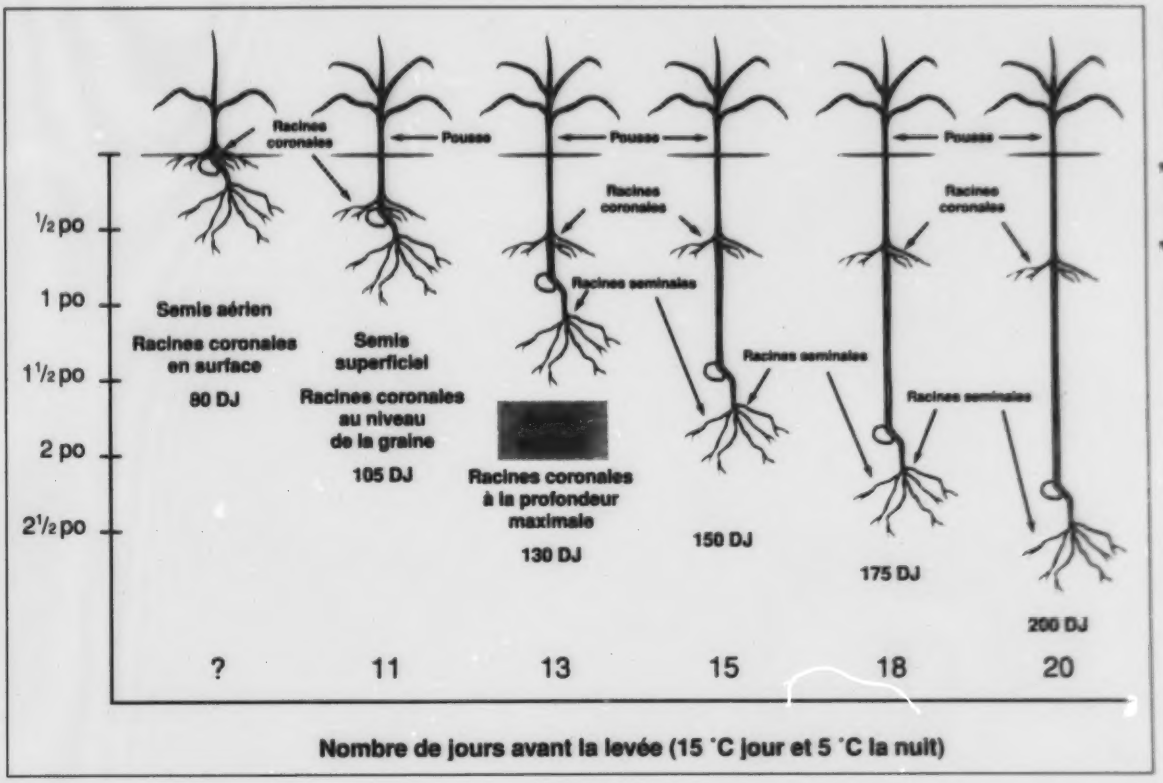


Figure 6–1.
Nombre de jours avant la levée en fonction de la profondeur de semis

est-elle beaucoup moins grande que pour bien d'autres cultures. C'est ce qui explique que les cultures céréalières soient nettement en retard dans la mise au point de cultivars ayant des caractéristiques spéciales élaborées au moyen de la technologie du transfert génique.

Cette situation est appelée à changer. Encore faut-il que l'attitude de l'industrie et des consommateurs face à ces changements évolue. Les producteurs doivent être au fait des progrès à ce chapitre ainsi que des critères de maintien et de séparation de l'identité qui peuvent en découler.

L'orge, et maintenant le blé, sont au premier plan des nouveaux développements technologiques visant à améliorer leur matériel génétique. Grâce à la technique du doublement des haploïdes, élaborée à l'Université de Guelph, le nombre de nouveaux cultivars s'est considérablement accru. Cette technique devrait assurer l'afflux constant de nouveaux cultivars de meilleure qualité offrant des caractéristiques agronomiques adaptées aux conditions de culture de l'Ontario.

Semis

Profondeur de semis

La profondeur de semis peut avoir une grande influence sur la croissance de la plante (voir figure 6-1, *Nombre de jours avant la levée en fonction de la profondeur de semis*, ci-dessus). Il n'en reste pas moins que ce sont les conditions de sol au moment du semis qui doivent déterminer la profondeur de semis. Ainsi, on ne doit jamais ensemencer superficiellement un sol sec en espérant que la pluie aidera à la germination. Semer dans un sol humide pour assurer une levée rapide et uniforme, même si un semis profond paraît nécessaire. Si par contre le sol est détrempé, envisager d'effectuer un semis peu profond ou de hâter l'assèchement du sol par un passage supplémentaire de la machinerie de travail du sol.

Les recherches et les innovations technologiques portant sur la maîtrise de la profondeur de semis accusent un retard important en ce qui a trait aux céréales, comparativement aux cultures du maïs et du soya. Avec les semoirs actuels, la profondeur de semis peut varier de 1,25 à 7,5 cm (½ à 3 po) sur le même rang, selon les conditions de sol.

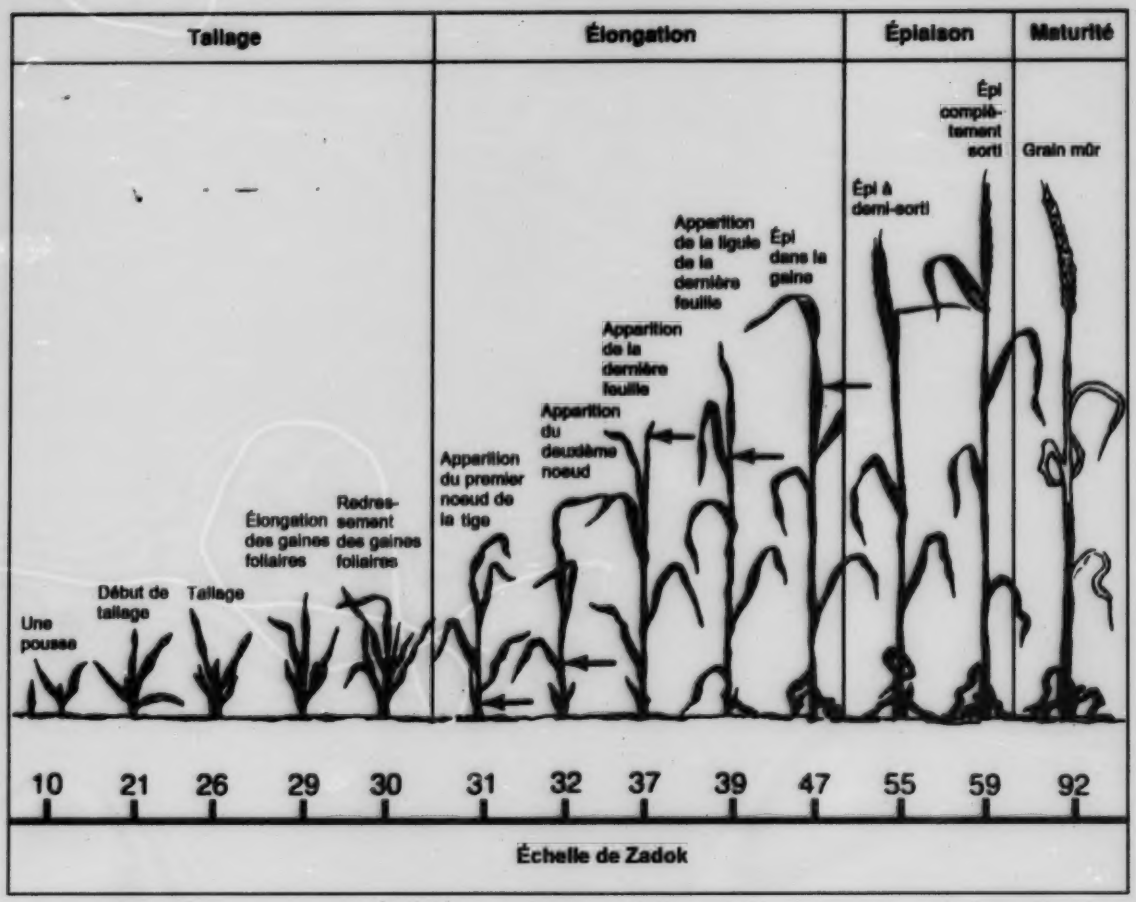


Figure 6–2.
Stades de croissance des céréales

Les producteurs peuvent tenter d'amoindrir cet écart de profondeur en utilisant des dispositifs tasseurs, qui retiennent la semence au fond de la raie. Le nivellement du terrain et des vitesses de semis plus lentes aideront à amoindrir l'écart de profondeur. La profondeur des semis de céréales ne sera jamais aussi précise que celles du maïs tant que des roues plombeuses suivront des ouvre-sillons à double disque, ou que des coutres simples sans bras parallèles feront partie de l'équipement de série.

Le rendement des céréales est considérablement influencé par la variabilité de la profondeur du semis et un manque de précision dans la mise en place des semences. Les céréales sont les cultures qui réagissent le mieux à un semis hâtif qui est fait au bon moment (voir la rubrique *Dates de semis*, p. 215). Lorsque les céréales ne sont pas semées à une profondeur uniforme ou sont semées trop profondément, il arrive que la levée soit retardée d'une semaine ou plus (voir figure 6–1, p. 213). Une levée retardée équivaut à des semis fait en retard et entraîne une réduction équivalente du rendement. Il est évident que la précision des semoirs doit être améliorée.

Profondeur de semis optimale

Les céréales doivent être semées uniformément à une profondeur de 2,5 cm (1 po). Cette façon de procéder favorise une levée hâtive et le développement rapide des racines coronales bien ramifiées. Comme l'humidité est un facteur primordial, il faut absolument que la graine soit en contact avec un sol humide. Une profondeur de semis de 2,5 cm (1 po) est peu utile s'il n'y a pas d'humidité à cette profondeur.

Les producteurs qui réussissent à semer le blé d'automne avec précision s'assurent que leur blé survivra mieux à l'hiver et leur procurera de meilleurs rendements. Cette stratégie rapportera également des dividendes dans les cultures de céréales de printemps. Les producteurs doivent chercher à perfectionner

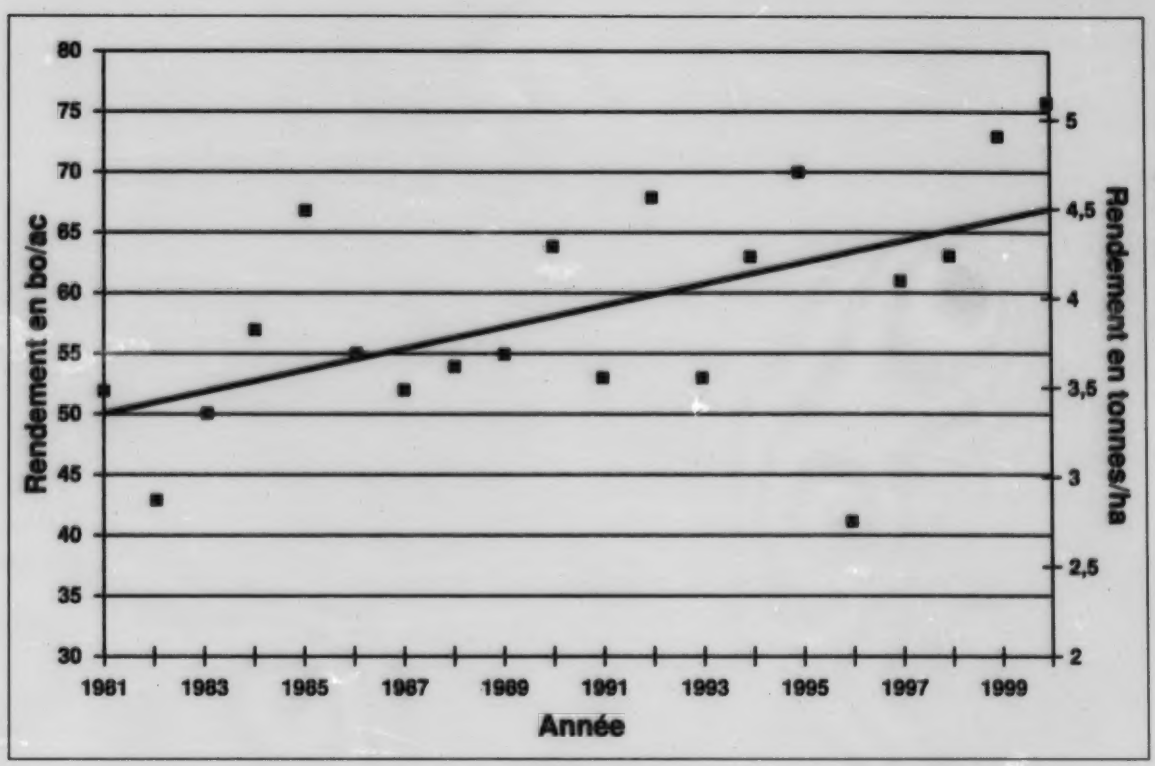


Figure 6–3.
Rendement du blé d'automne à l'échelle de la province de 1981 à 2000

leurs méthodes de semis afin d'enregistrer les meilleurs rendements possibles.

Croissance des céréales

On peut déterminer la croissance de la plantule de céréale en mesurant les accumulations de degrés-jours (DJ). Les calculs des DJ sont exposés en détail sous la rubrique *Degrés-jours*, p. 4. Pour les cultures de céréales, utiliser la valeur 0 comme base de calcul.

Généralement, les céréales ont besoin de 80 DJ pour germer. Pour la levée, il faut 50 DJ supplémentaires par pouce de profondeur de semis.

> À des températures automnales typiques de 15 °C le jour et de 5 °C la nuit, il faut compter 8 jours (15 °C + 5 °C = 20/2 = 10 degrés-jours/jour) pour la germination, et 5 jours supplémentaires par pouce de profondeur de semis pour la levée. Des températures plus froides ralentiront la croissance.

La figure 6–2, *Stades de croissance des céréales*, p. 214, montre les stades de croissance des céréales selon « l'échelle de Zadok » (« l'échelle de Feekes », une autre échelle de croissance, ne paraît pas ici). Ces stades sont critiques pour bien des décisions de gestion prises par les producteurs. Les applications d'herbicides et d'azote doivent être faites au stade du tallage, tandis que la lutte contre les maladies est plus importante aux stades de l'élongation et de l'épiaison. La connaissance des stades de croissance de la culture est essentielle lors du dépistage des problèmes, afin de juger si des interventions sont justifiées.

Dates de semis

Les céréales réagissent encore plus à la date de semis que ne le fait le maïs. Des études faites en Ontario révèlent qu'au delà de la date de semis optimale, chaque jour de retard dans les semis de céréales entraîne une baisse de rendement de 0,07 t/ha/jour (1,1 bo/ac/jour).

Les rendements du blé d'automne à l'échelle de la province de 1981 à 2000 sont indiqués à la figure 6–3, *Rendement du blé d'automne à l'échelle de la province de 1981 à 2000*, ci-dessus. Les rendements records enregistrés en 1999 et en 2000 sont essentiellement attribuables aux semis qui avaient été devancés l'automne précédent, tandis que les rendements faibles de 1993 sont le résultat d'un semis tardif à l'automne 1992.

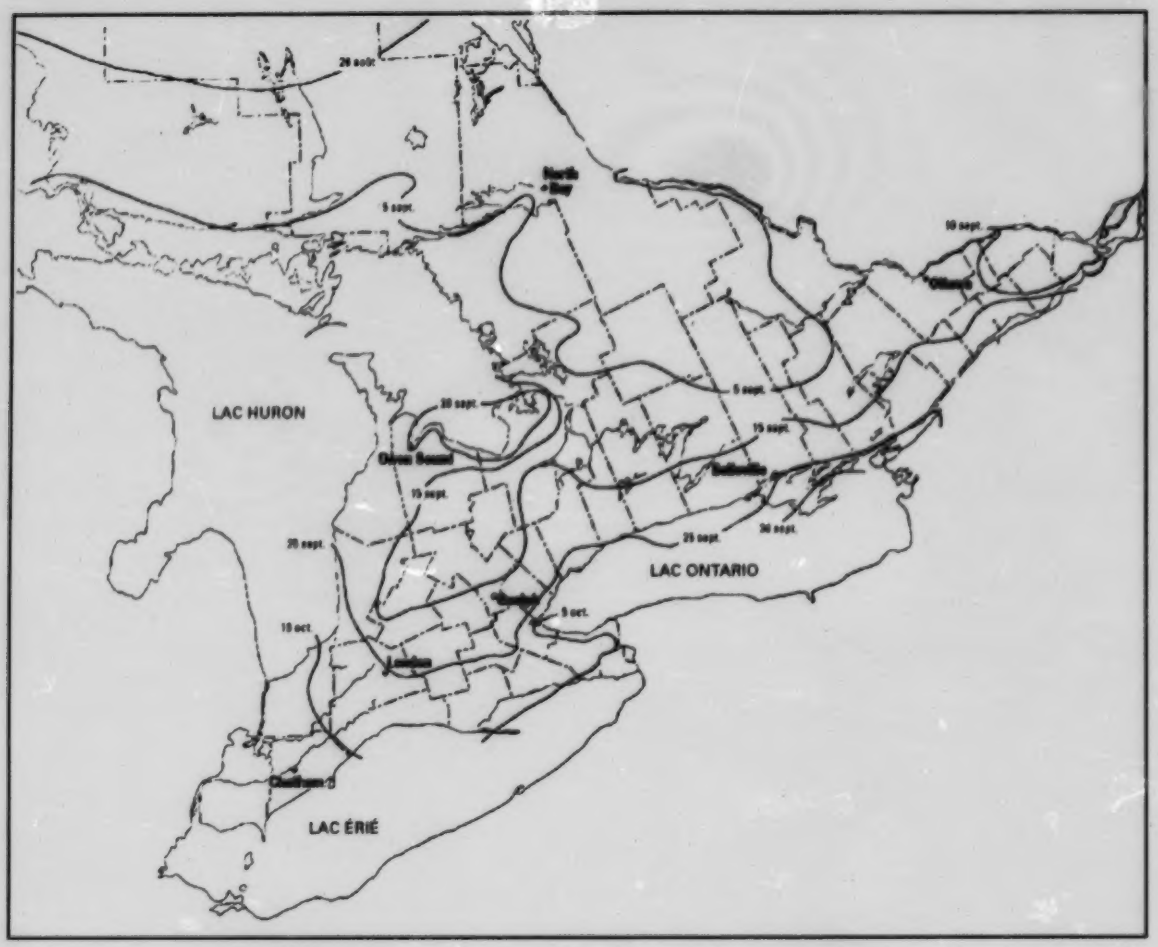


Figure 6–4.
Dates de semis optimales du blé d'automne en Ontario

Céréales d'automne

Comme la date des semis de blé d'automne dépend souvent de la date de récolte du soya, les semis risquent d'être retardés par rapport à la date de semis optimale du blé d'automne. Or ces retards peuvent entraîner des baisses de rendement. Pour faciliter la culture du blé à la suite du soya, voir les directives toutes simples énoncées sous la rubrique *Semis de blé après une culture de soya*, p. 117.

La figure 6–4, *Dates de semis optimales du blé d'automne en Ontario*, ci-dessus, montre les dates de semis optimales pour le blé d'automne. Les isolignes tracées sur la carte reposent sur les conditions météorologiques moyennes, de telle sorte que les dates réelles pourront varier légèrement d'une année à l'autre. Semer l'orge d'automne entre 7 et 10 jours avant les dates de semis optimales pour le blé d'automne, afin d'améliorer la survie hivernale. L'orge d'automne est beaucoup moins rustique que le blé d'automne.

Il arrive que le blé soit semé trop tôt. Semer le blé au plus 10 jours avant la date de semis optimale, afin de minimiser les risques d'infestation par la mouche de Hesse et d'infection par le virus du nanisme jaune de l'orge. Ce virus est propagé par les pucerons, qui se nourrissent des plantules de blé. L'utilisation d'insecticides pour maîtriser les pucerons n'est ni utile ni économique. Étant donné qu'ils sont très sensibles aux basses températures, les pucerons et les inquiétudes qu'ils causent aux producteurs diminuent considérablement dès que le mercure descend. (Pour plus d'information sur la mouche de Hesse, le puceron du merisier à grappes ou le virus du nanisme jaune de l'orge, voir les rubriques *Ravageurs*, p. 232, et *Maladies*, p. 237).

Tableau 6–6.
Détermination du potentiel de rendement en fonction de différentes densités de peuplement

N^bre de plants		Potentiel de rendement (en %)	Date des semis	
			Rendement : t/ha (bo/ac)	
par mètre de rang	par pied de rang		5 oct.	15 oct.
66	20[1]	100	5,34 (80)	4,84 (72)
33	10	95	5,11 (76)	4,57 (68)
23	7	90[2]	4,84 (72)	4,37 (65)
20	6	85	4,57 (68)	4,10 (61)
16	5	80	4,30 (64)	3,90 (58)

Source : Smid, Collège de Ridgetown, Université de Guelph, 1986–1990.

[1] Peuplement complet.

[2] Des plants sains et distribués uniformément, selon une densité de 23 plants/m (7 plants/pi) de rang donneront quand même 90 % du potentiel de rendement et n'obligent pas à reprendre les semis. Une culture dont la densité de peuplement moyenne est de 23 plants/m (7 plants/pi) de rang, dont les plants ne sont pas distribués uniformément ou sont gravement endommagés par le déchaussement et d'autres facteurs, ne fournira pas un rendement satisfaisant. Envisager dans ce cas de reprendre les semis.

Comme l'orge d'automne doit être semée tôt, choisir un cultivar qui tolère le virus du nanisme jaune de l'orge.

Les cultivars modernes de blé n'occasionnent pas de problèmes de croissance excessive de la partie aérienne s'ils sont semés tôt. Tandis que le blé semé tôt risque d'être plus sensible à la moisissure des neiges, le blé semé même 2 semaines avant la date de semis optimale n'a pas affiché de problèmes de croissance excessive de la partie aérienne depuis au moins 20 ans.

Céréales de printemps

Il est pratiquement impossible de semer trop tôt des céréales de printemps, à moins que le sol ne soit extrêmement détrempé. Cette réaction formidable de la plante aux semis hâtifs incite certains producteurs à faire les semis sur sol gelé. Les conditions printanières fraîches et humides favorisent le tallage et la production de gros épis. Elles devancent aussi les dates de floraison, ce qui soustrait la culture aux chaleurs et à la sécheresse qui règnent souvent de la fin juin au début juillet.

Les dates cibles pour semer les céréales de printemps sont le 10 avril dans le sud-ouest de l'Ontario, le 15 avril dans le centre et l'est de l'Ontario et le 10 mai dans le nord de la province. Dans les zones de plus de 2900 unités thermiques de croissance, la culture des céréales de printemps n'est en général pas recommandée, et elle est carrément à proscrire si les semis sont retardés au delà du 20 avril.

Tableau 6–7.
Densités de peuplement recommandées pour les cultures céréalières

Culture	Peuplement visé		
	Plants/ m²	Graines/ha (x 1 000)	Graines/ac (x 1 000)
Orge	250–350	2 500–3 500	1 000–1 400
Avoine	200–300	2 000–3 000	800–1 200
Céréales mélangées	200–350	2 000–3 500	800–1 400
Blé de printemps	300–400	3 000–4 000	1 200–1 600
Blé d'automne	350–450	3 500–4 500	1 400–1 800

Reprise des semis

Les céréales d'automne comptent parmi les rares cultures qui donnent une deuxième chance au producteur d'évaluer la culture au printemps pour voir si la survie hivernale a été acceptable et de semer une autre culture sans que le rendement de la deuxième culture n'en soit affecté. Évaluer la récolte de blé en avril et au début mai. La décision de reprendre les semis devrait être prise le plus tard possible. Les plants endommagés se rétablissent souvent sous de bonnes conditions météorologiques. Par contre, des plants qui auraient dû se remettre peuvent mourir sous des conditions chaudes et sèches. Le tableau 6–6, *Détermination du potentiel de rendement en fonction de différentes densités de peuplement*, ci-contre, indique le potentiel de rendement associé à diverses densités de peuplement. La date de semis aura une incidence sur la décision de reprendre les semis.

Taux de semis

Traditionnellement, on avait l'habitude d'exprimer les taux de semis recommandés en bo/ac et d'adopter comme norme pour la plupart des céréales le taux de 2 bo/ac. Or, ce genre de généralisation n'est désormais plus acceptable. Le calibre des semences influence le taux de semis. Des taux de semis optimaux sont établis pour chaque culture céréalière. Le tableau 6–7, *Densités de peuplement recommandées pour les cultures céréalières*, ci-dessus, indique les densités de peuplement recommandées selon la culture. Le tableau 6–8, *Détermination du taux de semis*, p. 218, indique quant à lui le nombre de graines par mètre de rang et le nombre de kilogrammes de semence par hectare qui sont

Tableau 6–8.
Détermination du taux de semis

Écartement des rangs	Densité de peuplement recherchée (graines/ha) x 1 000					
	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500
	Graines par mètre de rang					
10 po	49	62	75	89	102	112
8 po	39	49	62	69	82	92
7 ½ po	39	46	56	66	75	85
7 po	36	43	52	62	69	79
6 po	30	39	46	52	59	69
4 po	20	26	30	36	39	46
Graines/kg	**Kilogrammes de semence/ha**					
22 100	90	112	134	157	179	202
24 300	82	102	122	142	162	184
26 500	75	93	112	131	149	168
28 700	69	86	103	121	138	155
30 900	64	80	96	112	128	144
33 200	59	75	90	104	120	134
35 400	56	71	84	99	112	127
37 600	53	66	80	92	105	119
39 800	49	62	75	87	100	112
42 000	47	59	71	83	94	106
44 200	45	56	67	78	90	101

nécessaires pour obtenir les différentes densités de peuplement recherchées.

En ce qui a trait aux taux de semis et aux densités de peuplement recherchées, il faut savoir qu'un cultivar qui offre un moins grand nombre de graines/kg sera désavantagé par rapport à un autre qui en offre un plus grand nombre. Pour obtenir la densité recommandée dans la plupart des sols, un taux de semis plus élevé (kg/ha) sera nécessaire pour les cultivars renfermant moins de graines/kg.

Utiliser les taux les plus élevés des tableaux 6–7, p. 217, et 6–8, ci-dessus :

a) là où des problèmes risquent de se présenter à la levée et au début de l'établissement des plantules (si le lit de semence laisse à désirer ou si les semis se font par voie aérienne ou à la volée, par exemple);
b) si les semis sont faits tardivement et que le tallage sera réduit.

La formule suivante peut servir à déterminer le taux de semis :

$$\text{Taux de semis (kg/ha)} = \frac{\text{graines/ha}}{\text{graines/kg}} \times \frac{100}{\%\text{ de germination}}$$

$$\text{Taux de semis (lb/ac)} = \frac{\text{graines/ac}}{\text{graines/lb}} \times \frac{100}{\%\text{ de germination}}$$

Exemple de calcul

Le nombre de graines/kg (graines/lb) devrait être indiqué sur l'étiquette ou le sac de semences. Par exemple, si l'on vise 3,7 millions de graines/ha (1,5 million de graines/ac) et que le taux de germination est de 95 %, à raison de 26 500 semences/kg (12 000 graines/lb), le taux de semis sera de 147 kg/ha (132 lb/ac).

$$\text{Syst. métrique :} \quad \frac{3\,700\,000}{26\,500} \times \frac{100}{95} = 147 \text{ kg/ha}$$

$$\text{Syst. impérial :} \quad \frac{1\,500\,000}{12\,000} \times \frac{100}{95} = 132 \text{ lb/ac}$$

Écartement des rangs

On a beaucoup étudié l'écartement des rangs de céréales dans le but de déterminer celui qui permettrait d'obtenir le rendement maximal. Le tableau 6–9, *Écartement des rangs de blé d'automne*, p. 219, fait le point sur les résultats des recherches menées en Ontario et dans le nord des États-Unis sur l'écartement des rangs de blé d'automne. Les résultats des essais à la ferme effectués en Ontario ont été inclus dans ce tableau.

Rien ne prouve qu'il y aurait intérêt dans les cultures d'automne à opter pour des rangs plus rapprochés que la distance standard de 18–19 cm (7–7 ½ po). Il semble par ailleurs qu'opter pour des rangs plus espacés entraîne une baisse de rendement. Bon nombre des nouveaux semoirs en lignes pour rangs de 25 cm (10 po) procurent un semis de plus grande précision que la plupart des semoirs à céréales prévus pour des écartements de 19 cm (7 ½ po). Vu l'importance que revêt la profondeur de semis, cette précision accrue peut compenser en partie les baisses de rendement attribuables à l'écartement des rangs, comme en témoignent les données recueillies dans les comtés d'Essex et de Middlesex ainsi qu'en Ohio, où des semoirs précis ont été utilisés sur des rangs écartés de 25 cm (10 po).

Dans le cas des céréales de printemps, les essais menés dans le nord de l'Ontario ont indiqué des augmentations de rendement de plus de 5 % lorsque

Tableau 6–9.
Écartement des rangs de blé d'automne

	Écartement des rangs de blé d'automne				
	10 cm (4 po)	18 cm (7 po)	25 cm (10 po)	36 cm (14 po)	51 cm (20 po)
Emplacement	Rendement en t/ha (bo/ac)				
É.-U.					
Wisconsin 1985–1987	6,32 (94)	6,32 (94)	5,44 (81)	–	–
Ohio	–	4,10 (61)	4,03 (60)	3,97 (59)	3,56 (53)
Canada					
Ontario[1]	5,38 (80)	5,38 (80)	–	–	–
Essais à la ferme					
Comté d'Essex	–	5,12 (76)	4,97 (74)	–	–
Comté de Middlesex	–	5,98 (89)	5,91 (88)	–	

[1] Source : Smid, Collège de Ridgetown, Université de Guelph, 1987–1990.

l'écartement des rangs a été réduit de 18 à 10 cm (7 à 4 po). Le fait de passer à des écartements de 10 cm (4 po) peut se révéler bénéfique dans cette région. Par contre, il est difficile de réduire autant l'écartement des rangs dans un système de semis direct.

Autres possibilités à explorer

Les producteurs qui sont au fait des méthodes de culture des céréales employées en Europe savent que des gains de rendement sont possibles en utilisant des fongicides, des régulateurs de croissance et davantage d'engrais. Compte tenu des conditions de croissance qu'on trouve en Ontario, il est plus difficile de dégager des bénéfices d'un tel apport supplémentaire d'intrants. Les producteurs aguerris pour qui la culture des céréales n'a plus de secret sont à même de tirer parti de ces stratégies. Ceux qui y ont souvent recours connaissent des gains de rendement, qui sont attribuables au choix du moment des applications et à l'utilisation de ces intrants supplémentaires. Ces producteurs sont en mesure de déterminer le moment optimal pour faire les applications et si ces applications sont indiquées. En général, ils obtiennent des résultats supérieurs à la moyenne.

La maîtrise des maladies foliaires est l'une des stratégies de gestion mentionnées plus haut. Pour plus d'information sur l'identification des maladies et les méthodes de lutte, voir la rubrique *Maladies*, p. 237, et la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Les seuils d'intervention dans la lutte contre les maladies varient selon la maladie en cause ainsi que le stade de croissance et l'état de la culture. En général, il est important de bien observer les deux feuilles supérieures des céréales, à tous les stades de croissance. Si une maladie atteint l'une ou l'autre de ces feuilles ou les deux, déterminer si le seuil d'intervention a été atteint et s'il est justifié d'appliquer un traitement.

Les producteurs qui s'y connaissent en matière de culture de céréales enregistrent des gains de rendement bien supérieurs aux coûts qu'ils engagent en ayant recours à certains des derniers fongicides apparus sur le marché. Une bonne dose d'observation sur le terrain et des mises au point sont nécessaires pour optimiser les avantages que procurent ces outils de gestion plus intensifs.

Les régulateurs de croissance sont une autre solution à explorer. Certains cultivars de céréales présentent d'excellents potentiels de rendement mais versent avant d'être récoltés, ce qui réduit les rendements et la qualité. Les régulateurs de croissance, lorsqu'ils sont utilisés à la bonne dose et au bon moment, peuvent raccourcir et raffermir la paille et maintenir les plants bien dressés jusqu'à ce que les cultivars à la paille moins forte aient été récoltés. Cette dépense est superflue dans le cas des cultivars dont la paille est forte. Il reste que certains producteurs ont le sentiment que l'augmentation à la fois de l'efficacité de la moissonneuse-batteuse et de la vitesse de récolte des céréales traitées avec un régulateur de croissance justifie son application sur toute la superficie cultivée. Des recherches sont en cours pour déterminer si les avantages pressentis sont réels.

Fertilisation

Engrais pour les cultures céréalières

Azote

Les céréales font partie de la famille des graminées et réagissent beaucoup aux apports d'azote. Une surdose d'azote peut provoquer la verse des cultures de céréales, entraînant une réduction de rendement et de qualité et des difficultés au moment de la récolte (voir planche 101, p. 340). La dose optimale d'azote pour un champ en particulier dépend de la culture qui y pousse, des applications antérieures de fumier ou d'engrais, du type de sol et de la rotation des cultures. Partir des recommandations générales, mais prendre aussi en considération les observations sur la croissance de la culture et sa tendance à verser.

Tableau 6–10.
Besoins en azote des cultures céréalières

Culture	Azote requis[1] en kg/ha	(lb/ac)
Orge (zones recevant 2 600 UTC ou moins)	70[2]	(63)
Orge (zones recevant plus de 2 600 UTC)	45	(40)
Céréales servant de plantes-abri aux cultures fourragères	15	(14)
Céréales mélangées, triticale de printemps (sud de l'Ontario)	45	(40)
Céréales mélangées, triticale de printemps (nord de l'Ontario)	70	(63)
Avoine, seigle de printemps (sud de l'Ontario)	35	(32)
Avoine, seigle de printemps (nord de l'Ontario)[3]	55	(50)
Blé de printemps[3]	70	(63)
Orge de printemps, seigle d'automne	90[4]	(81)
Triticale d'automne	80[4]	(72)
Blé d'automne	Voir tableau 6–11, ci-contre.	

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Réduire les doses d'azote dans les champs ayant reçu du fumier ou ayant servi précédemment à la culture d'une légumineuse (voir le tableau 2–15, *Réduction des besoins d'azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, p. 42, et le tableau 2–16, *Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques*, p. 43).

[2] Voir la rubrique *Orge de printemps et teneur du sol en azote des nitrates*, p. 221.

[3] Recommandation provisoire fondée sur une étude de portée restreinte.

[4] Lorsqu'il n'est pas cultivé en rotation avec le tabac.

Tableau 6–11.
Besoins en azote du blé de qualité pâtissière

	Rendement espéré[1] t/ha		
	3,5	4,5	5,5
Coût de l'engrais azoté ($/kg)	Fertilisation azotée la plus rentable[2] (kg/ha)		
0,60[3]	75	85[4]	110
0,70	70	85	105
0,80	65	80	100
0,90	60	75	95

100 kg/ha = 90 lb/ac

Pour le blé tendre roux ou blanc de qualité pâtissière. Les besoins en azote sont basés sur du blé d'automne évalué à 142 $/tonne. On peut épandre jusqu'à 10 kg d'azote à l'hectare au semis et le reste, en surface, au début du printemps.

[1] Le rendement espéré est celui que l'agriculteur s'attend à obtenir, compte tenu de l'état du sol, des conditions climatiques et de la gestion.

[2] Lorsqu'il n'est pas cultivé en rotation avec le tabac.

[3] La dose la plus appropriée au moment de l'impression.

[4] Si le rendement espéré est de 4,5 t/ha et que l'azote coûte 0,60 $/kg, la dose d'engrais la plus avantageuse est évaluée à 85 kg/ha.

Recommandations générales

Les recommandations générales concernant la fertilisation azotée des céréales se trouvent dans le tableau 6–10, *Besoins en azote des cultures céréalières*, ci-dessus, dans le tableau 6–11, *Besoins en azote du blé de qualité pâtissière*, ci-contre, et dans le tableau 6–12, *Fertilisation azotée recommandée pour l'orge de printemps selon la teneur du sol en azote de nitrates*, p. 221. La surfertilisation au moyen de fumier ou d'engrais commerciaux peut causer la verse des céréales.

Recommandations pour le blé vitreux roux d'automne

Les cultivars de blé vitreux roux d'automne actuellement recommandés ne sont pas des blés vitreux véritables. Ils ne sont pas équivalents aux blés roux de printemps de l'Ouest canadien (RPOC), mais sont des cultivars de vigueur moyenne qui sont panifiables et qui possèdent des qualités uniques. Une teneur élevée en protéines est exigée de ces cultivars pour qu'ils satisfassent aux normes de qualité. Afin d'obtenir ces teneurs en protéines, il faut souvent augmenter la dose d'engrais azoté. Selon des recherches sur le terrain de portée restreinte, la dose optimale d'azote serait de 30–45 kg/ha (27–40 lb/ac) supérieure à celle qui est recommandée pour le blé (tendre) de qualité pâtissière. Il semblerait que le fractionnement de la dose d'azote entre le début du printemps et le début de l'élongation des tiges (stades 31–32 selon l'échelle de Zadok) peut accroître encore plus la teneur en protéines, mais cette façon de procéder est rarement économique. Des cultivars de blé vitreux roux affichant des teneurs accrues en protéines sont actuellement en cours d'élaboration. Il se peut que ces cultivars ne nécessitent pas d'apports supplémentaires d'azote pour que soient atteints les teneurs en protéines qui assurent des primes maximales. Se renseigner auprès des fournisseurs pour des conseils sur les doses d'azote recommandées selon les cultivars.

Tableau 6–12.
Fertilisation azotée recommandée pour l'orge de printemps selon la teneur du sol en azote de nitrates

Teneur du sol en azote des nitrates au printemps à 0–30 cm (kg/ha) [1]	Rapport de prix [2]			
	8	7	6	5
10	138	147	156	165
20	107	114	122	129
30	76	81	87	93
40	44	49	53	57
50	13	16	18	21
60	0	0	0	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

Dans les zones situées ailleurs que dans l'est de l'Ontario qui reçoivent moins de 2 800 UTC.

[1] Pour transformer en kg/ha les valeurs en ppm des teneurs du sol en azote des nitrates (à 30 cm de profondeur), multiplier ces dernières par quatre.

[2] Le rapport de prix est le coût de l'azote contenu dans l'engrais ($/kg de N) divisé par le prix de vente de l'orge ($/kg d'orge). (Voir la rubrique *Ratio coût de l'azote/prix du maïs*, p. 77).

Comme l'azote destiné à augmenter la teneur du grain en protéines est nécessaire plus tard dans la saison de croissance que celui destiné à favoriser le rendement, les cultivars de blé vitreux sont tout indiqués pour tirer parti de l'azote provenant de sources organiques (légumineuses enfouies ou fumier de bétail). De ce fait, les teneurs en protéines recherchées sont souvent plus faciles à atteindre sur les fermes d'élevage.

Orge de printemps et teneur du sol en azote des nitrates

L'analyse de la teneur du sol en azote des nitrates peut servir à prévoir les besoins en azote de l'orge de printemps dans des régions de la province situées ailleurs que dans l'est de l'Ontario et recevant moins de 2800 UTC (voir la figure 3–1, *Unités thermiques disponibles pour la culture du maïs*, p. 66).

Comme les sols varient par leur aptitude à fournir l'azote aux plantes, les recommandations générales présentées dans le tableau 6–10, *Besoins en azote des cultures céréalières*, p. 220, ne valent pas nécessairement pour tous les sols. La quantité d'azote des nitrates présente dans le sol près du moment des semis peut être un indicateur utile de l'aptitude du sol à fournir de l'azote à la culture. Une recommandation fondée sur la teneur du sol en azote des nitrates au printemps devrait être vue comme un indicateur dans l'élaboration du programme de fertilisation azotée de l'orge de printemps (voir le tableau 6–12, *Fertilisation azotée recommandée pour l'orge de printemps selon la teneur du sol en azote de nitrates*, ci-contre).

Moment et profondeur de l'échantillonnage

Prélever les échantillons le plus près possible du moment des semis (dans les 5 jours qui précèdent les semis), ce qui laisse le temps d'expédier les échantillons au laboratoire, de les faire analyser et de recevoir les résultats (se renseigner auprès du laboratoire sur les délais d'exécution à respecter). Il est important que toutes les carottes soient prélevées à la même profondeur (30 cm). Pour s'assurer que l'échantillon est représentatif du champ, prélever le même nombre de carottes en respectant un schéma d'échantillonnage semblable à celui qui est recommandé pour une analyse de sol ordinaire à la rubrique *Échantillonnage du sol*, p. 35. Voir également l'annexe L, *Service de diagnostic*, p. 314.

Faire preuve de jugement

Il arrive qu'il faille corriger les recommandations de fertilisation azotée fondées sur les résultats des analyses de la teneur du sol en azote des nitrates, de manière à tenir compte de l'azote contenu dans le fumier épandu ou les légumineuses enfouies juste avant l'échantillonnage. Cet azote n'est en effet pas encore converti en nitrates et ne sera donc pas révélé par l'analyse de sol. Les résultats d'analyse sont accompagnés d'explications sur la façon de calculer cette correction.

Faire preuve de prudence si les recommandations prescrivent une forte dose d'engrais azoté dans un champ où l'orge a déjà souffert de la verse à des doses plus faibles. Les résultats des analyses de la teneur du sol en azote des nitrates n'ont pas été évalués adéquatement pour voir s'ils reflètent bien :

1. l'enfouissement de légumineuses utilisées comme engrais vert ou le fumier épandu en fin d'été ou à l'automne précédent;
2. la culture de l'orge après une légumineuse dans un système de semis direct où l'on procède à la destruction chimique de la légumineuse.

Uniformité des épandages d'engrais azoté

Pour obtenir un rendement maximal, il faut que l'azote soit épandu uniformément sur tout le champ. Un épandage uniforme est plus important encore que la forme sous laquelle se présente l'engrais azoté. Le tableau 6–13, *Pertes de rendement associées à de mauvais schémas d'épandage de l'azote*, p. 222, montre les pertes de rendement qui peuvent être attribuables à un mauvais schéma d'épandage de l'azote. Un écart de rendement de 1,48 t/ha (22 bo/ac) a été enregistré entre les bandes ayant reçu la pleine dose d'engrais et celles n'ayant reçu qu'une faible dose.

Tableau 6–13.
Pertes de rendement associées à de mauvais schémas d'épandage de l'azote

Rendement en t/ha (bo/ac)	
Dose faible de N	Pleine dose de N
3,72 (55,3)	5,20 (77,3)

Source : P. Johnson, MAAARO

D'après les résultats obtenus à deux endroits dans le comté de Middlesex, en 1998, à raison de trois répétitions à chaque endroit.

L'utilisation de buses à jet concentré pour épandre de l'azote 28 % donne une application uniforme. On peut aussi appliquer de l'urée ou du nitrate d'ammonium (nitrate d'ammonium et de calcium) à l'aide d'unités de distribution à air, quoique l'uniformité risque alors d'être compromise. Les jours humides, il arrive que l'urée s'accumule dans les tubes de distribution, ce qui en restreint l'écoulement et nuit à la distribution. Pour obtenir un schéma de distribution uniforme, il faut donc s'assurer que le liquide circule librement dans les tubes.

Les épandeurs rotatifs ne sont pas recommandés pour les applications d'azote sur les céréales, en raison du manque d'uniformité du schéma d'épandage. Si on les utilise quand même, on doit, pour palier au manque d'uniformité, doubler le nombre de passage (en réduisant la superficie traitée à 6 m ou 20 pi de centre à centre, au lieu de 12 m ou 40 pi de centre à centre, et en réduisant la dose de moitié).

Les engrais à base de nitrate ammonium et d'urée (NAU) appliqués à l'aide de buses à jet concentré brûlent peu les feuilles, sinon pas du tout. **IL N'EST PAS RECOMMANDÉ** de pulvériser de l'azote 28 % à la volée (à l'aide de buses à miroir ou de buses à jet en T) sur des cultures de céréales levées. Le tableau 6–14, *Pertes de rendement associées à la brûlure des feuilles occasionnée par une application à la volée d'azote 28 % sur des céréales*, ci-contre, montre les pertes de rendement associées à cette pratique. L'ajout d'azote 28 % à une application d'herbicide, en particulier s'il s'agit d'un herbicide de contact, aggrave considérablement les dommages aux feuilles et les pertes de rendement (voir planche 102, p. 340).

Brûlure des feuilles

On prétend parfois que la brûlure de 28 % des feuilles entraîne une augmentation du tallage et donne une culture plus fournie et plus performante. En fait, si l'on peut déceler la brûlure des feuilles depuis un véhicule en mouvement, c'est qu'au moins 10 % des feuilles ont été brûlées. Or, ce niveau de dommages fait passer

Tableau 6–14.
Pertes de rendement associées à la brûlure des feuilles occasionnée par une application à la volée d'azote 28 % sur des céréales

	Rendement	
% de feuilles brûlées [1]	t/ha	bo/ac
5	4,97	74
7	4,70	70
8	4,64	69
13	4,50	67
21	4,50	67
27	4,03	60
	Plus petit écart significatif =7 [2]	

Adapté d'un tableau de Jim Kells, Michigan State University, 1994.

[1] Sept jours après l'application.

[2] Plus petit écart significatif : niveau de 5 %

le rendement de 5,71 t/ha (85 bo/ac) à seulement 5,38 t/ha (80 bo/ac). On comprend que lorsque 28 % de feuilles sont brûlées, les dommages sons suffisants pour faire mourir un sous-semis de trèfle rouge. Il ne faut donc pas compter sur la brûlure des feuilles pour accroître les rendements.

Moment des applications d'azote

La plupart des engrais azotés destinés aux céréales de printemps sont appliqués avant les semis et incorporés au sol. Cette façon de procéder permet une utilisation optimale de l'engrais par la culture, tout en minimisant les risques de pertes par ruissellement ou par volatilisation. Un traitement en surface des céréales de printemps levées est acceptable, surtout si un engrais de démarrage a été appliqué au moment des semis.

Les céréales d'automne ne devraient recevoir qu'une faible dose d'engrais azoté au moment des semis étant donné le risque de perte d'azote durant l'hiver. Le gros de l'azote doit être appliqué au début du printemps, juste au moment où la culture commence à verdir. Il n'y a pas toujours d'avantages à fractionner les applications d'azote sur les céréales de printemps ni sur les blés d'automne de qualité pâtissière.

Phosphate et potasse

Les doses de phosphate et de potasse recommandées pour les céréales sont données dans le tableau 6–15, *Doses de phosphate et de potasse recommandées dans les céréales d'après les résultats des analyses de sol reconnues par le MAAARO*, p. 223.

Tableau 6–15. Doses de phosphate et de potasse recommandées dans les céréales d'après les résultats des analyses de sol reconnues par le MAARO

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium (ppm)	Orge de printemps, blé de printemps et céréales mélangées		Avoine, triticale de printemps et seigle de printemps		Blé d'automne, seigle d'automne, orge d'automne et triticale d'automne		Céréales de printemps ou d'automne avec sous-semis	
	Cote	Phosphate (P_2O_5)[1] nécessaire kg/ha	Cote	Phosphate (P_2O_5)[1] nécessaire kg/ha	Cote	Phosphate (P_2O_5)[1] nécessaire kg/ha	Cote	Phosphate (P_2O_5)[1] nécessaire kg/ha
0–3	BASSE	110	BASSE	70	BASSE	70	BASSE	130
4–5		100		60		60		110
6–7		90		50		50		90
8–9		70		30		30		70
10–12		50	MOYENNE	20	MOYENNE	20	MOYENNE	50
13–15	MOYENNE	20		20		20		30
16–20		20		0		20		20
21–25	HAUTE	0	HAUTE	0	HAUTE	0	HAUTE	20
26–30		0		0		0		0
31–40		0		0		0		0
41–50	TRÈS HAUTE	0	TRÈS HAUTE	0	TRÈS HAUTE	0	TRÈS HAUTE	0
51–60		0		0		0		0
61 +	EXCESSIVE[2]	0	EXCESSIVE[2]	0	EXCESSIVE[2]	0	EXCESSIVE[2]	0
Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium (ppm)	**Cote**	**Potasse (K_2O)[3] nécessaire kg/ha**	**Cote**	**Potasse (K_2O)[3] nécessaire kg/ha**	**Cote**	**Potasse (K_2O)[3] nécessaire kg/ha**	**Cote**	**Potasse (K_2O)[3] nécessaire kg/ha**
0–15	BASSE	90	BASSE	70	BASSE	50	BASSE	90
16–30		80		50		40		80
31–45		70		40		30		70
46–60		50		30		20		50
61–80		40	MOYENNE	20	MOYENNE	20		40
81–100		30		20		20		30
101–120	MOYENNE	20	HAUTE	0	HAUTE	20	MOYENNE	20
121–150		20		0		0		20
151–180	HAUTE	0	TRÈS HAUTE	0	TRÈS HAUTE	0	HAUTE	0
181–210	TRÈS HAUTE	0		0		0	TRÈS HAUTE	0
211–250		0		0		0		0
251 +	EXCESSIVE[4]	0	EXCESSIVE[4]	0	EXCESSIVE[4]	0	EXCESSIVE[4]	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Dans les champs fertilisés au fumier, réduire la dose d'engrais en fonction de la quantité de fumier épandue (voir la rubrique *Fumier*, p. 23). Pour l'orge de printemps cultivée dans des endroits recevant moins de 2 600 UTC, les besoins en azote s'élèvent à 70 kg/ha (voir le tableau 6–10, *Besoins en azote des cultures céréalières*, p. 220) lorsqu'on n'a pas épandu de fumier et qu'aucune légumineuse n'a été cultivée précédemment. Si l'analyse révèle une teneur de 11 ppm en phosphore et de 48 ppm en potassium, il faut épandre 50 kg de phosphate et 50 kg de potasse/ha. On satisfera les besoins en phosphore et en potassium en enfouissant 250 kg (50 + 20 x 100) de 5-20-20/ha; ceux en azote seront comblés par un épandage à la volée de 170 kg de 34-0-0 ou 130 kg de 45-0-0/ha.

[2] Une teneur excessive peut entraîner une chute du rendement ou altérer l'équilibre des éléments nutritifs dans la culture et accroître le risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates.

[3] Dans les champs fertilisés au fumier, réduire la dose d'engrais en fonction de la quantité et du type de fumier épandu (voir la rubrique *Fumier*, p. 23).

[4] Une teneur excessive peut entraîner la chute du rendement ou de la qualité de la récolte à cause surtout de la carence en magnésium. Des teneurs supérieures à 250 ppm se trouvent parfois dans les sols argileux ou les loams argileux non fertilisés, mais elles ne causent habituellement aucun problème parce que de tels sols sont habituellement riches en magnésium.

Pour plus d'information sur l'interprétation de ces tableaux ou si l'agriculteur ne dispose pas de résultats d'analyses reconnues par le MAAARO, il doit se référer à la rubrique *Recommandations d'engrais*, p. 36.

Modes d'épandage

Quand les céréales ont besoin d'un engrais phosphaté, il vaut mieux appliquer celui-ci avec la semence. Les engrais appliqués avec la semence peuvent comprendre une partie ou la totalité des apports d'azote et de potasse nécessaires, selon les doses d'engrais. Pour plus d'information, voir le tableau 2–30, *Doses maximales sûres des éléments fertilisants*, p. 54.

Analyse des tissus végétaux

Pour les céréales, prélever les deux feuilles les plus hautes au stade de l'épiaison. Cependant, les plants soupçonnés de souffrir d'une carence en éléments nutritifs doivent être échantillonnés aussitôt que le problème se manifeste. Pour les plants qui ont moins de 20 cm de haut, prélever la plante entière. Lorsque les échantillons ne sont pas prélevés au stade de l'épiaison, prélever les échantillons à la fois des zones carencées et des zones saines du champ, afin de permettre l'établissement de comparaisons.

Prélever un échantillon de sol au même endroit et au même moment que l'échantillon de tissus.

Pour plus de renseignements sur ce sujet, voir le tableau 6–16, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus pour les cultures céréalières*, ci-contre, ainsi que l'annexe L, *Service de diagnostic*, p. 314.

Tableau 6–16.
Interprétation des résultats d'analyse des tissus pour les cultures céréalières

Élément nutritif	Unité	Concentration critique [1]	Concentration maximale normale [2]
Azote (N)	%	2,0	2,7
Phosphore (P)	%	0,1	0,5
Potassium (K)	%	1,0	3,0
Calcium (Ca)	%	–	1,0
Magnésium (Mg)	%	0,15	1,0
Bore (B)	ppm	3	40
Cuivre (Cu)	ppm	3	50
Manganèse (Mn)	ppm	15	200
Zinc (Zn)	ppm	10	70

Les valeurs s'appliquent aux deux feuilles du haut du plant prélevées au moment de l'épiaison.

[1] Il faut s'attendre à une perte de rendement lorsque la teneur en un élément nutritif baisse à la concentration critique ou sous celle-ci.

[2] Les concentrations maximales normales sont supérieures aux besoins, mais ne causent pas forcément de toxicité.

Oligo-éléments

Manganèse

Les carences en manganèse apparaissent fréquemment lorsque le blé, l'avoine ou l'orge sont cultivés sur des sols organiques (des terres noires). Elles se produisent occasionnellement sur des sols minéraux riches en matière organique et dont le pH est élevé, ainsi que sur des sols très sablonneux. Dans l'avoine, la carence en manganèse se traduit par l'apparition de taches ovales, grises et irrégulières sur les feuilles (voir planche 103, p. 340). Dans l'orge et le blé, elle se manifeste le plus souvent par des stries jaune clair sur le limbe, alors que les nervures demeurent vert un peu plus foncé (voir planche 104, p. 340). Les analyses de sol et de tissus sont utiles pour révéler les endroits où des carences en manganèse sont susceptibles de se produire. Les deux analyses sont offertes par les laboratoires d'analyse de sol accrédités par le MAAARO.

Il faut corriger la carence aussitôt qu'elle est décelée en pulvérisant sur le feuillage 2 kg de manganèse (8 kg de sulfate de manganèse) dans 200 L d'eau/hectare. Ajouter un mouillant-adhésif à la bouillie. En cas de carence prononcée, une deuxième pulvérisation peut être bénéfique. Une application à l'automne peut être nécessaire pour assurer la survie hiémale des céréales d'automne qui croissent dans des zones souffrant de carences graves en manganèse.

L'épandage sur le sol ne constitue pas une méthode recommandée d'application du manganèse, quelle qu'en soit la source, du fait des grandes quantités qui sont nécessaires. La plupart du temps, les carences dont souffrent les plants sont causées par une faible biodisponibilité du manganèse plutôt que par un manque de manganèse dans le sol. Un apport de manganèse ne résoudra pas ce problème.

Cuivre

Des carences en cuivre sont susceptibles de se produire dans les sols organiques (terres noires); on en soupçonne l'existence en de rares occasions sur des sols très sablonneux. Le symptôme le plus courant est le dépérissement de la pointe de la feuille, souvent accompagné de la torsion des feuilles supérieures. Pour de l'information sur la façon de remédier à une carence en cuivre, voir la rubrique *Oligo-éléments*, p. 40.

Bore

Aucune carence en bore n'a été diagnostiquée dans les céréales. Son apport peut même être toxique et provoquer le blanchiment des tissus foliaires des plantules.

Zinc

Les carences en zinc ne semblent pas poser de problème dans les céréales.

Aucun mélange d'herbicides et de fertilisants foliaires ne devrait être appliqué sur le feuillage d'une culture à moins qu'il soit recommandé par des autorités compétentes. Toujours consulter l'étiquette des herbicides.

Récolte et entreposage

Réglage optimal de la moissonneuse-batteuse

Les manuels d'utilisation sont la première source à consulter pour savoir comment régler le matériel servant à la récolte des petites céréales. Il arrive à l'occasion que des conditions particulières exigent des réglages plus poussés. La récolte de grains endommagés par *Fusarium*, des cultures versées ou des cultures infectées par la carie naine ou la carie nécessitent une attention particulière. Le moyen le plus facile et le plus sûr d'améliorer l'échantillon de grain dans ces cas est de bien régler la moissonneuse-batteuse. Souvent, la différence entre une culture commercialisable et un blé de grade d'échantillon est attribuable au réglage de la moissonneuse-batteuse. Il ne faut pas craindre d'expérimenter.

L'entreposage de la culture permet d'améliorer la qualité du grain avant de le livrer au silo-élévateur ou à la minoterie. Cela est particulièrement important pour le blé infecté par l'une ou l'autre forme de carie. Bien des producteurs ont fait l'expérience d'un second nettoyage du grain à l'aide de tarares, de nettoyeurs-séparateurs et de tables densimétriques dans le but d'améliorer la qualité de l'échantillon. On peut aussi confier cette tâche aux exploitants des silos-élévateurs contre rémunération, ce qui peut être extrêmement avantageux lorsque le grain peut ainsi passer du grade de grains récupérés à celui de blé de meunerie. L'amélioration de la qualité du grain aide l'exploitant du silo-élévateur à trouver preneur pour le grain.

Grain endommagé par *Fusarium*

Normalement, à la récolte, les moissonneuses-batteuses utilisent un jet d'air pour séparer le grain de la paille. Comme bon nombre des grains infectés par *Fusarium* sont petits, ratatinés et plus légers que les grains sains, on peut faire en sorte qu'une grande proportion de ces grains soient projetés à l'arrière de la moissonneuse-batteuse, en augmentant le débit du ventilateur au delà des fourchettes de débit habituelles. En 1996, de nombreux producteurs ont fait fonctionner le ventilateur à vitesse maximale afin d'améliorer la qualité du grain. Une étude menée en 1996 par M. Art Schaafsma (Université de Guelph, Collège de Ridgetown), révèle que le fait de faire fonctionner le ventilateur à la vitesse maximale (jusqu'à 300 tours/minute au delà de la vitesse de rotation prescrite) a permis de réduire de 10 fois la quantité de grains endommagés par *Fusarium* qui se trouvaient dans le grain. Le fait de faire fonctionner le ventilateur de nettoyage aussi vite entraîne nécessairement une plus grande perte de bon grain. Celle-ci peut atteindre 0,13 t/ha (2 bo/ac) (voir tableau 6–17, *Influence de la vitesse de rotation du ventilateur sur le rendement du blé*, p. 226). Cette faible réduction de rendement est négligeable si la culture parvient ainsi à être commercialisée au lieu d'être reléguée aux grades de blé fourrager, d'échantillon ou de grains récupérés.

Ne pas entreprendre la récolte avant que la teneur en eau ne soit tombée à 16 % si l'incidence de *Fusarium* est élevée. De fortes teneurs en eau réduisent la capacité du ventilateur à rejeter vers l'arrière les grains plus légers endommagés par ce pathogène.

Le fait de réduire la vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse peut par ailleurs réduire encore davantage les niveaux de *Fusarium*. Cela laisse en effet plus de temps à l'air pour séparer le bon grain du grain infecté, ce qui assure une meilleure séparation. Il est également important d'ouvrir davantage la grille supérieure, afin de diriger l'air à la verticale. On ralentit ainsi le mouvement vers l'arrière de la masse de grain et on favorise son nettoyage et sa séparation. Veiller à ce que les épis et les particules de paille restent hors de l'échantillon de grain si la grille supérieure est ouverte.

Malheureusement, il arrive que la qualité du grain ne puisse être haussée à la hauteur des normes d'admissibilité aux grades meuniers. Il est alors conseillé de stocker le plus possible du grain endommagé dans l'espoir de pouvoir l'écouler plus tard.

Il est conseillé de stocker le grain endommagé par *Fusarium*. Souvent, une fois la récolte terminée, les intermédiaires chargés de la commercialisation du blé sont soumis à une pression moins forte et sont alors en mesure d'évaluer les marchés existants et la meilleure façon de conditionner le blé pour qu'il réponde aux critères de ce marché.

Tableau 6–17.
Influence de la vitesse de rotation du ventilateur sur le rendement du blé

	Vitesse de rotation du ventilateur (tours/minute)							
	1 160	1 190	1 220	1 250	1 280	1 320	1 330	1 330
	Réglage du crible : 6 mm (¼ po)							Avant fermé
Grain sain au sol : au m^2 (au pi^2)	172 (16)	125 (11,6)	340 (31,6)	263 (24,4)	379 (35,2)	446 (41,4)	470 (43,6)	461 (42,8)
Perte : t/ha (bo/ac)	0,06 (0,83)	0,04 (0,58)	0,11 (1,58)	0,08 (1,22)	0,12 (1,76)	0,14 (2,07)	0,15 (2,18)	0,14 (2,14)
Perte pour un rendement de 4,03 t (60 bo) : %	1,38	0,97	2,63	2,03	2,93	3,45	3,63	3,56

Case International 1644, blé Harus, comté d'Essex, le 17 juillet 1996. Vitesse d'avancement de 6,8 km/h (4,2 milles/h). Vitesse de rotation de 880 tours/minute.

Source : Art Schaafsma, Université de Guelph, Collège de Ridgetown, 1996.

Se rappeler que le blé qu'on entrepose doit absolument être sec (c.-à-d. renfermer au plus 14 % d'humidité). Du blé humide favoriserait la prolifération de *Fusarium* et la production de toxines, ce qui détériorerait encore davantage la récolte. Inspecter fréquemment le grain entreposé pour s'assurer qu'il reste en bon état.

Récolte de céréales versées

Il existe plusieurs moyens efficaces de récolter des céréales qui ont versé.

Releveurs d'épis

Si le blé a versé, le réglage de la moissonneuse-batteuse prend plus de temps dans le champ et nécessite plus de soins. Même si des barres de coupe flexibles sur des tabliers flottants à soya font aujourd'hui partie de l'équipement de série des moissonneuses-batteuses, il peut être judicieux d'utiliser des releveurs d'épis, qui soulèvent la culture au-dessus de la barre de coupe. Il s'agit d'un moyen économique de maximiser les rendements.

Réglage des couteaux

Sur les barres de coupe flottantes, laisser les couteaux inclinés vers le bas et faire fonctionner le tablier dans la position flottante comme s'il s'agissait de récolter une culture de soya. Si l'on opte pour cette solution, on doit prendre garde de ne pas faire entrer de cailloux dans la moissonneuse-batteuse.

Réglage du rabatteur

Régler le rabatteur de la moissonneuse-batteuse. La plupart des rabatteurs sont réglés en permanence en fonction d'une récolte optimale du soya (les moissonneuses-batteuses plus récentes permettent des réglages hydrauliques depuis la cabine), mais ce réglage ne convient pas aux céréales qui ont versé. Régler le rabatteur vers l'avant et modifier l'angle des peignes de manière à ce qu'ils soient plus performants, ce qui permettra au rabatteur de soulever littéralement la culture au-dessus du sol et au-dessus du niveau des couteaux. Faire la mise au point en partant des réglages suggérés dans le manuel d'utilisation.

Passage à sens unique

La solution de dernier recours, à laquelle il faut malheureusement se résoudre certaines années, consiste à faire la récolte à sens unique.

Blé infecté par la carie

Le moyen de loin le plus facile d'éviter d'avoir à récolter du blé infecté par la carie est d'utiliser de la semence convenablement traitée. Toutefois, quand la carie sévit dans une culture, les méthodes de récolte et d'entreposage doivent viser à minimiser l'introduction des balles sporifères dans l'échantillon et à réduire l'odeur de poisson qui se dégage du grain après la récolte.

On ne doit pas récolter le blé infecté par la carie si sa teneur en eau est élevée. Les spores provenant des balles sporifères éclatées adhèrent plus facilement au grain mouillé. Il s'agit donc de récolter le grain une fois qu'il est sec en faisant tourner le cylindre à basse vitesse et en ouvrant le contre-batteur, de manière à minimiser le nombre de balles sporifères qui éclatent pendant la récolte. Faire fonctionner les ventilateurs de nettoyage à haute vitesse afin de souffler autant de balles sporifères et de spores de carie que possible vers l'arrière de la moissonneuse-batteuse.

L'entreposage du blé infecté par la carie est un bon moyen d'améliorer la qualité du grain. L'aération est ici la clé du succès. Stocker les grains infectés dans des installations offrant une grande capacité d'aération. Aérer le grain jusqu'à ce que l'odeur disparaisse. Manipuler le grain délicatement au moment de le retirer de la cellule de stockage pour éviter de provoquer l'éclatement des balles sporifères qui seraient restées intactes et qui risqueraient alors de contaminer à nouveau le grain. Privilégier les transporteurs à courroie au détriment des vis de déchargement lorsqu'il s'agit de déplacer du grain infecté par la carie. On peut aussi manipuler le grain par aspiration, ce qui permet souvent de le débarrasser des balles sporifères restantes et de conserver le grain intact.

Ne jamais contaminer du blé propre avec du blé infecté par la carie ni les mélanger ensemble. Même une très faible proportion de grains contaminés peut détériorer la qualité du grain. Quant au mélange, il n'améliorera pas le grain endommagé et ne peut qu'entraîner la détérioration du bon grain.

Pour en savoir plus long, voir la rubrique *Carie naine et carie du blé*, p. 242.

Séchage et entreposage du blé

Si le temps est pluvieux ou si l'on cherche à réduire les pertes de récolte, il arrive qu'on récolte le blé d'automne à une forte teneur en eau. Le blé est considéré sec à une teneur en eau de 14,5 %.

Pour l'entreposer sans crainte, on doit faire baisser la teneur en eau du blé d'automne à 13–14 %.

Systèmes de séchage

On peut utiliser trois systèmes de séchage pour sécher le blé :

1. séchoirs à l'air ambiant;
2. séchoirs à basse température (moins de 40 °C ou 104 °F)
3. séchoirs à haute température ou ultra-rapides (plus de 40 °C ou 104 °F).

Séchage à l'air ambiant et à basse température

Le séchage du blé ne peut se faire à l'air ambiant que lorsque l'humidité relative à l'extérieur est inférieure à la teneur en eau d'équilibre des grains. L'efficacité du séchage à l'air ambiant se trouve considérablement réduite les périodes pluvieuses ou la nuit lorsque les températures sont fraîches et les taux d'humidité sont normalement élevés. Lorsque la température de l'air tombe à moins de 10 °C (50 °F), le forçage de l'air ambiant ne permet pas de retirer suffisamment d'humidité, si bien qu'il faut alors recourir au chauffage. Des périodes prolongées de temps humide peuvent aussi nécessiter le recours à une source de chaleur d'appoint. Le fait d'augmenter la température de l'air d'arrivée de 5 °C (41 °F) permet d'assécher l'air, sans toutefois trop assécher le grain au fond de la cellule. Le tableau 6–18, *Débit d'air recommandé pour le séchage du blé à l'air ambiant et à basse température*, ci-dessus, indique les débits d'air qui sont recommandés pour sécher le blé à l'air ambiant et à basse température.

Tableau 6–18.
Débit d'air recommandé pour le séchage du blé à l'air ambiant et à basse température

Teneur en eau (% à l'état humide)	Débit d'air minimal	
	L/sec/m³	pi³/min/bo
16	6,5	0,5
17	9,75	0,75
18	13	1,0

Adaptation d'un tableau tiré de : Wilcke, William F., Hellevang, Kenneth J. *Wheat and Orge Drying*, FS-5949-GO, 1992. University of Minnesota, Extension Service.

Exigences minimales de séchage à l'air ambiant :

- Aménager un plancher d'aération complet dans la cellule de stockage;
- Niveler la surface du grain à la grandeur de la cellule de stockage;
- Assurer une circulation d'air d'au moins 6,5 L/sec/m³ (½ pi³/min/bo), l'idéal étant un taux plus élevé;
- Nettoyer le grain afin de le débarrasser des graines de mauvaises herbes et des particules fines;
- Mesurer avec justesse la teneur en eau du blé dans la cellule de stockage;
- Bien lire la température de l'air et l'humidité relative à l'extérieur;
- Bien comprendre la teneur en eau d'équilibre du blé;
- Installer un interrupteur de commande du ventilateur.

Un plancher d'aération complet est essentiel pour que l'air se déplace uniformément au travers de tout le contenu de la cellule. Avec un plancher d'aération partiel ou des conduites d'air, il se forme des zones où l'air ne circule pas, ce qui engendre des problèmes de gaspillage. Les graines de mauvaises herbes, les résidus de végétaux encore verts et les particules fines qui

Tableau 6–19.
Températures maximales de l'air recommandées pour le séchage du blé de meunerie[1]

Type de séchoir ou utilisation finale	Température maximale °C	°F
Séchoirs discontinus sans recyclage d'air usé	60	140
Séchoirs discontinus à recyclage d'air usé	60–70	140–158
Séchoirs continus à écoulement transversal	60	140
Séchoirs à écoulement parallèle	70	158
Blé de semence	40[2]	104

[1] Copyright : *Farm Drying of Wheat*, Commission canadienne des grains, sept. 1992.

[2] Wilcke, William F., Hellevang, Kenneth J. *Wheat and Orge Drying*. FS-5949-GO, 1992. University of Minnesota, Extension Service.

s'accumulent dans la cellule de stockage augmentent la résistance au passage de l'air ou dévient l'air. L'air qui se déplace au travers de la masse de grain emprunte toujours la voie offrant le moins de résistance.

Séchage à haute température

Quand le séchage se fait à haute température, de grands volumes d'air chaud, à 40 °C (104 °F) ou plus, assurent le séchage du grain en quelques heures ou jours. On peut utiliser des séchoirs à maïs, mais il peut être nécessaire de réduire la température de séchage afin d'éviter toute réduction de la qualité de l'amidon et du pouvoir germinatif. Il est important de ne pas dépasser les températures maximales de l'air recommandées pour le séchage du blé de meunerie (voir tableau 6–19, *Températures maximales de l'air recommandées pour le séchage du blé de meunerie*, ci-dessus). Ces températures dépendent du type de séchoir et de l'utilisation finale du blé.

> Pour sécher le blé en toute sécurité, il faut s'assurer que la température des grains ne dépasse jamais 60 °C (140 °F).

La qualité boulangère du blé est endommagée si la température du grain atteint pendant un certain temps 60 °C (140 °F). Lorsqu'on utilise des séchoirs à air chaud, il est recommandé d'évaluer des échantillons pour s'assurer que le grain séché respecte les normes du marché.

Du blé gourd peut être séché à l'air ambiant si les conditions de séchage s'y prêtent. Le séchage à l'air ambiant du blé demande des soins attentifs de la part de l'exploitant, étant donné que le blé s'assèche et se réhumidifie facilement. Ne faire fonctionner le ventilateur que lorsque les conditions extérieures feront progresser le séchage.

> Ne pas faire circuler le ventilateur en permanence, nuit et jour, sous peine de voir le blé se réhumidifier la nuit et de constater l'anéantissement la nuit des progrès accomplis le jour.

Détermination du débit d'air

Il faut un débit d'air suffisant pour déplacer l'air au travers de toute la masse de grain. Pour retirer l'humidité, le débit d'air minimal est de 6,5 L/sec/m^3 ($\frac{1}{2}$ pi^3/min/bo); tout débit d'air inférieur à cette valeur aura pour effet de modifier la température sans toutefois influencer la teneur en eau du blé. Des débits d'air supérieurs, de 26 L/sec/m^3 (2 pi^3/min/bo) ou plus, ne font qu'accélérer le processus de séchage. Ces débits d'air élevés peuvent être difficiles à atteindre, à moins d'avoir des ventilateurs beaucoup plus puissants. Le petit calibre des grains de blé fait en sorte que les interstices entre les grains sont très petits. Pour déplacer de grandes quantités d'air au travers d'une couche épaisse de grains de blé, il faut un ventilateur performant offrant une capacité de pression statique élevée. Si la combinaison de la cellule de stockage et du ventilateur ne permet pas d'obtenir un débit de 26 L/sec/m^3 (2 pi^3/min/bo) lorsque la cellule est remplie de maïs, ne la remplir qu'à moitié ou au tiers de blé. Si l'on utilise des ventilateurs à écoulement axial, un bon point de départ consiste à remplir la cellule au tiers de la profondeur du maïs.

Pour trouver la valeur du débit en pi^3/min/bo, déterminer le nombre de boisseaux dans la cellule de stockage et la pression statique que le ventilateur doit négocier. Un simple manomètre relié à la chambre de répartition d'air située sous le faux fond perforé indiquera la pression statique (c.-à-d. le nombre de pouces d'eau déplacés dans la colonne). Voir l'annexe I, *Manomètre de fabrication artisanale*, p. 312, pour un schéma d'un manomètre à fabriquer soi-même. À partir de la courbe de rendement du ventilateur, se servir de la pression statique pour déterminer le débit d'air du ventilateur.

> Pour calculer le débit d'air en pi^3/min/bo, diviser le rendement du ventilateur en pi^3/min par le nombre de boisseaux contenus dans la cellule de stockage (1 pi^3/min/bo = 13 L/sec/m^3).

Tableau 6–20.
Teneur en eau d'équilibre du blé tendre d'automne exposé à l'air

Température en °C (°F)	Humidité relative (%)				
	50	60	70	80	90
0 (32)	12,5	13,5	14,6	16,1	18,2
5 (41)	12,1	13,1	14,2	15,7	17,9
10 (50)	11,7	12,7	13,9	15,3	17,5
15 (59)	11,4	12,4	13,5	15,0	17,2
20 (68)	11,1	12,1	13,2	14,7	17,0
25 (77)	10,8	11,8	13,0	14,4	16,7

S'il n'est pas possible d'obtenir le débit d'air recherché, une solution consiste à ne remplir que partiellement la cellule de stockage. Ainsi, le ventilateur fonctionnera à une pression statique moindre et fournira un débit plus grand par boisseau.

Teneur en eau d'équilibre

Des chercheurs ont mis au point des tableaux des teneurs en eau d'équilibre (voir tableau 6–20, *Teneur en eau d'équilibre du blé tendre d'automne exposé à l'air*, ci-dessus) qui permettent de prévoir la teneur en eau finale du blé d'automne lorsqu'il est exposé à l'air à une certaine température et à une certaine humidité relative.

Par exemple, pour déterminer la teneur en eau d'équilibre du blé exposé à l'air extérieur à 25 °C (77 °F) et à 80 % d'humidité relative, trouver dans le tableau 6–19, *Températures maximales de l'air recommandées pour le séchage du blé de meunerie*, p. 228, le point d'intersection de la ligne de 25 °C (77 °F) et de la ligne de 80 % d'humidité relative. Ce point correspond à la teneur en eau d'équilibre pour le blé soumis aux conditions extérieures indiquées. Pour peu qu'il s'écoule suffisamment de temps, la teneur en eau du blé s'abaissera jusqu'à 14,4 %.

Quand faire fonctionner le ventilateur

Faire fonctionner le ventilateur, non pas en fonction de l'heure de la journée, mais en fonction de la température de l'air et du taux d'humidité relative. Certains jours, les conditions sont propices au séchage de 9 h à 24 h, tandis que d'autres jours, elles ne le sont que de 9 h à 18 h. Vérifier à plusieurs reprises au cours de la journée la température et le taux d'humidité relative de l'air. Au fur et à mesure que le blé perd de sa teneur en eau, il faut de l'air de plus en plus sec à l'extérieur pour continuer à faire progresser le front de séchage. Si la teneur en eau d'équilibre un jour donné est inférieure à la teneur en eau des grains les plus humides, le séchage est possible et le ventilateur doit être mis en marche. Installer un humidistat qui mettra le ventilateur en marche à des taux d'humidité préréglés. L'opérateur peut régler le taux d'humidité relative auquel le ventilateur doit se mettre en marche.

Le grain qui se trouve dans le haut de la cellule de stockage séchera en dernier. Chaque jour où le ventilateur fonctionne, le front de séchage se déplace un peu plus vers le haut de la cellule. Il se peut que l'ensemble du front du séchage n'atteigne pas la surface du grain le même jour. On doit s'assurer de mesurer le taux d'humidité chaque fois à la même profondeur. On a ainsi une meilleure idée de l'évolution du taux d'humidité à cette profondeur. Les cellules de stockage pourvues de dispositifs de brassage afficheront des taux d'humidité relativement uniformes à la grandeur de la cellule du fait justement du brassage du grain.

Tableau 6–21.
Répercussions des mauvaises herbes sur le rendement des céréales

Culture	Mauvaise herbe	N^bre de plants de la mauvaise herbe/m²	Pertes de rendement
Orge de printemps	Folle avoine	13	5 %
Orge de printemps	Sétaire verte	175	5 %
Blé de printemps	Folle avoine	8	5 %
Blé de printemps	Folle avoine	25	14 %
Blé de printemps	Sétaire verte	100	5 %

Adaptation d'un tableau tiré de : *The Manitoba/Saskatchewan Guide to Crop Protection*, 2001.

Lutte contre les mauvaises herbes

Période critique de lutte contre les mauvaises herbes

Aucune période critique de lutte contre les mauvaises herbes n'est établie pour les cultures céréalières. Il s'agit de combattre les mauvaises herbes dans les premiers stades de croissance des céréales. Au delà du stade 5 feuilles de la culture, les mauvaises herbes peuvent devenir plus difficiles à maîtriser et la culture peut être plus sensible aux blessures par les herbicides. Lorsque les mauvaises herbes des espèces annuelles d'automne sont un problème dans les céréales d'automne, pour accroître l'efficacité du traitement, faire la pulvérisation avant la floraison des plantes adventices.

L'étiquette de l'herbicide de postlevée indiquera le stade de croissance de la mauvaise herbe auquel la maîtrise sera optimale. Faire le traitement quand la culture est le

plus jeune possible en tenant compte du stade de la mauvaise herbe où le produit sera le plus efficace.

Pertes dues aux mauvaises herbes

Les pertes de rendement varient selon les espèces de mauvaises herbes présentes, les densités de peuplement des mauvaises herbes, le moment de leur levée ainsi que celui du traitement. Les plants qui lèvent plus tard ont tendance à moins concurrencer la culture et à produire moins de graines chacun. Les céréales, surtout celles qui appartiennent aux cultivars d'automne, livrent une plus grande concurrence aux mauvaises herbes que les cultures sarclées comme celles du maïs ou du soya.

Le tableau 6–21, *Répercussions des mauvaises herbes sur le rendement des céréales*, p. 229, repose sur des recherches effectuées dans l'Ouest canadien. Il montre les répercussions qu'ont la folle avoine et la sétaire verte dans le blé et l'orge de printemps. Les pertes de rendement ont été établies en supposant que les mauvaises herbes lèvent en même temps que la culture. Les pertes de rendement sont moins élevées lorsque les mauvaises herbes lèvent après la culture. Noter que la folle avoine est plus concurrentielle que la sétaire verte, et que l'orge livre une concurrence plus vive aux mauvaises herbes que le blé de printemps.

Des études menées en Ontario démontrent que les dicotylédones annuelles sont plus concurrentielles que les graminées annuelles (voir le tableau 3–26, *Pertes de rendement attribuables aux mauvaises herbes dans le maïs en fonction de densités de peuplement connues*, p. 86, et le tableau 4–17, *Perte de rendement du soya due aux mauvaises herbes*, p. 136).

Avant de prendre une décision portant sur la lutte contre les mauvaises herbes, prendre en considération la qualité de la récolte. Les infestations de folle avoine dans une culture de céréale peuvent avoir des graves conséquences sur la qualité marchande en raison de la présence de graines de cette mauvaise herbe dans le produit récolté.

Lutte mécanique contre les mauvaises herbes

Un travail superficiel du sol avec une herse légère, avant la levée des céréales, permet de tuer une partie des mauvaises herbes en germination. On peut aussi passer une herse légère jusqu'au stade 3 feuilles des céréales, ou une herse bineuse à pointes flexibles en équerre au stade 4 feuilles, pour mieux éliminer les petites dicotylédones annuelles. Le moment propice pour effectuer le hersage est critique. Il faut que les mauvaises herbes soient petites et que la surface du sol soit sèche et meuble.

Lutte intégrée contre les mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes dans les cultures céréalières est influencée par les facteurs suivants :

- rotation des cultures;
- densité de peuplement;
- écartement des rangs;
- caractéristiques des cultivars;
- pratiques de travail du sol.

En général, les pratiques agronomiques qui favorisent une culture saine et une croissance rapide permettent à la culture de livrer une concurrence efficace aux mauvaises herbes.

La récolte des céréales en début de saison offre une occasion d'affaiblir les mauvaises herbes afin qu'elles soient mieux maîtrisées vers la fin de l'été. Les mauvaises herbes qu'on laisse pousser après la récolte peuvent contribuer à enrichir considérablement la banque de graines de mauvaises herbes contenues dans le sol, ce qui expose les cultures suivantes à des problèmes d'infestation plus lourds. On doit donc détruire les mauvaises herbes après la récolte, pour éviter qu'elles ne parviennent à maturité et qu'elles ne montent à graines. Après la récolte des céréales, les traitements dirigés contre les mauvaises herbes annuelles doivent être faits avant ceux qui sont dirigés contre les vivaces, comme le chiendent, par exemple, car ces dernières produisent moins de graines.

La rotation des cultures peut contribuer à tenir en échec certaines mauvaises herbes vivaces qui poussent mieux dans une culture en particulier. Utiliser de la semence vigoureuse et de haute qualité de manière à obtenir les densités de peuplement qui permettront à la culture de livrer une concurrence aux mauvaises herbes. Des semis hâtifs donnent à la culture une longueur d'avance sur les plantes adventices. Par contre, des semis profonds retardent la levée et favorisent la croissance des mauvaises herbes.

La machinerie peut disséminer les graines de mauvaises herbes d'un champ à l'autre. Les moissonneuses-batteuses, le matériel de travail du sol, les érosions éolienne et hydrique peuvent tous disséminer les mauvaises herbes. Celles-ci peuvent aussi infester un champ à la suite d'une application de fumier ou de tout autre amendement apporté au sol. De bonnes pratiques d'assainissement et de nettoyage du matériel de même que l'entretien du pourtour des champs sont autant de moyens d'assurer à long terme une lutte efficace contre les mauvaises herbes.

Se reporter à la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour plus d'information sur les produits herbicides et les doses à employer.

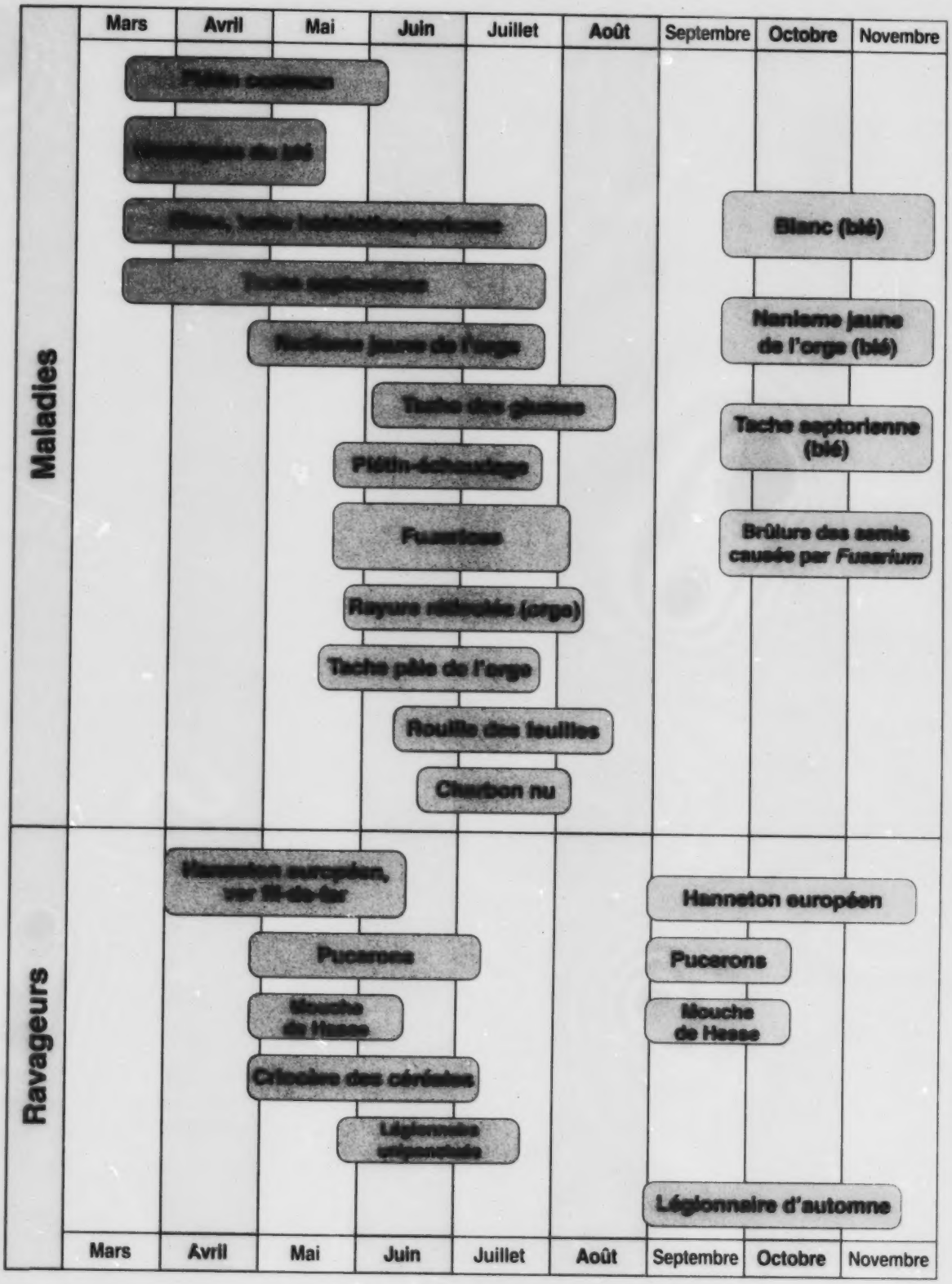


Figure 6–5.
Calendrier de dépistage des ennemis des cultures céréalières

Ravageurs

Le tableau 6–22, *Symptômes dans le champ*, ci-dessous, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les symptômes observés dans le champ.

On trouve après le tableau la description de chacun des ravageurs des céréales et les mesures de lutte recommandées.

Tableau 6–22.
Symptômes dans le champ

Symptôme	Ravageur possible						
	Légionnaire uniponctuée	Légionnaire d'automne	Puceron du merisier à grappes	Criocère des céréales	Hanneton européen	Mouche de Hesse	Ver fil-de-fer
Peuplement clairsemé					x		x
Plants rabougris ou versés (le champ peut sembler bleuté)						x	
Plaques bronze dans le champ			x				
Dommages sur les feuilles :							
Égratignures parallèles aux nervures				x			
Trous aux pourtours déchiquetés dans les feuilles	x	x					
Épis coupées	x						

Ver fil-de-fer

Description : Le ver fil-de-fer (ou larve de taupin) est une larve grêle, cylindrique, à exosquelette dur qui atteint une longueur de 4 cm (1½ po). Il est habituellement de couleur brun cuivré, mais peut être mou et blanc s'il vient de muer (voir planche 9, p. 323). L'adulte est un coléoptère qui est capable de se redresser à la verticale lorsqu'il est mis sur le dos, produisant alors un bruit sec qui lui vaut en anglais le nom de click beetle.

Cycle biologique : Le ver fil-de-fer peut mettre jusqu'à 6 années pour passer du stade de l'œuf à celui d'adulte. Il passe la plus grande partie de sa vie à l'état larvaire. Il hiverne à l'état de larve dans le sol sous la ligne de gel. Lorsque les températures du sol s'adoucissent au printemps, les larves migrent vers la surface pour s'alimenter. En raison de leur long cycle de vie, les larves peuvent endommager plusieurs cultures successives, en se nourrissant des racines des mauvaises herbes, des graminées et des plantes cultivées. Une fois que le sol s'est complètement réchauffé et que l'humidité du sol diminue, les larves s'enfoncent dans le sol et sont parfois difficiles à trouver plus tard dans la saison. Au moment d'évoluer au stade adulte, les larves migrent à nouveau vers la surface, effectuent leur pupaison et émergent des pupes pour s'accoupler et pondre des œufs dans les prairies ou les zones envahies de mauvaises herbes.

Dommages : Les vers fil-de-fer sont surtout actifs entre avril et juin. Ils sont en plus grand nombre dans les champs qui ont été peu dérangés. Les larves s'attaquent aux racines, aux semences et aux plantules en germination de nombreuses cultures, dont le maïs, le soya, le blé, les haricots comestibles et les pommes de terre. Une croissance non uniforme ou un peuplement clairsemé peuvent être causés par le ver fil-de-fer se nourrissant des graines en germination. Les vers fil-de-fer sont rarement problématiques dans les céréales semées à l'automne, mais peuvent causer de graves dégâts dans les céréales semées au printemps. Ils sont par ailleurs généralement plus nombreux dans les sols sableux, surtout sur les buttes.

Technique de dépistage : Le dépistage du ver fil-de-fer doit se faire à la mi-avril, avant les semis. Quelques semaines avant les semis, installer deux pièges-appâts aux endroits du champ qui présentent le plus haut risque d'infestation. Creuser à chaque endroit un trou d'environ 15 cm de large et de 5–8 cm de profond. Choisir un ou deux points du champ où les risques d'infestation sont élevés (buttes sablonneuses ou zones fortement envahies de graminées). Mettre au fond du trou un sac en filet de nylon contenant l'équivalent d'une tasse d'une quantité égale de maïs non traité préalablement trempé, et de blé ou de

pommes de terre fraîchement coupées. Remblayer en formant un léger monticule destiné à empêcher l'eau de s'accumuler au-dessus du piège-appât. Inspecter les pièges-appâts quelques jours avant les semis en tamisant le contenu du sac de manière à compter le nombre de larves par piège.

Seuil d'intervention : Un ver fil-de-fer par piège-appât.

Stratégies de lutte : Traiter les semences destinées aux champs où l'incidence du ver fil-de-fer est élevée ou aux champs où le maïs fait suite à une culture de gazon. Le traitement des semences protégera les graines en germination, mais sera de peu d'utilité aux plantules. Il n'existe aucun traitement de secours. Pour les recommandations relatives aux insecticides, consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Hanneton européen (ver blanc)

Description : La larve du hanneton européen est blanche et en forme de « C ». Elle a la tête brun orangé et le postérieur sombre. On la distingue des autres vers blancs par le motif en « Y » que forment les soies de l'écusson anal, sur le revers du dernier segment abdominal (voir planche 10, p. 323). L'adulte est un hanneton de taille moyenne, brun clair ou fauve et de forme ovale, qui ressemble à s'y méprendre au hanneton indigène.

Cycle biologique: Ce ravageur hiverne à l'état de larve ou de « ver blanc » dans le sol, sous la ligne de gel. D'avril à la mi-mai, les larves remontent près de la surface du sol et se nourrissent des racines des plantes. La pupaison a lieu entre la mi-mai et la mi-juin. Les hannetons adultes sortent du sol entre le début juin et le début juillet pour s'accoupler. Ils se rassemblent pour le vol nuptial et forment alors des essaims visibles à la brunante. Ils se dirigent vers des endroits élevés, habituellement des arbres ou d'autres éléments du paysage, pour s'accoupler. Les femelles adultes recherchent ensuite des sols humides et frais dans les pelouses ou les champs avoisinants pour y pondre leurs œufs. Les œufs éclosent et les larves nouvellement écloses se nourrissent de racines de la fin juillet jusqu'à ce que le sol gèle. Ces larves s'enfoncent alors dans le sol sous la ligne de gel pour y hiverner. On compte une génération par année.

Dommages : Les dommages sont surtout le fait des larves, bien que les adultes puissent se nourrir des feuilles. Les vers blancs ont tendance à se nourrir plus tôt au printemps et plus tard à l'automne que les autres larves.

Les vers blancs se nourrissent de racines fasciculées de graminées, de fourrages, de céréales d'automne, de maïs, de soya et de gazon, à 1,5–5 cm (1–2 po) sous la surface du sol. Ils sectionnent les racines, ce qui provoque le rabougrissement et le flétrissement des plants. Si les plants sont plus hauts et en croissance active, comme dans le cas du soya, les dommages peuvent passer inaperçus. En grand nombre, les vers blancs nuisent à la levée et donnent des plants dont la croissance semble arrêtée.

Technique de dépistage : L'idéal est de faire le dépistage du hanneton européen à l'automne dans le chaume de soya. Prêter davantage attention aux buttes sablonneuses. À l'aide d'une pelle, creuser un trou d'environ 30 cm (1 pi) de large sur environ 8–10 cm (3–4 po) de profond autour de cinq plants de soya distincts dans chaque zone échantillonnée.

Seuil d'intervention : Aucun seuil d'intervention n'a encore été établi. Éviter de semer des céréales d'automne si les vers blancs sont faciles à trouver.

Stratégies de lutte : Éviter de ressemer du maïs si les populations de vers blancs sont extrêmement abondantes. Le travail du sol ou le passage des disques en vue de déranger le sol comptent parmi les méthodes de lutte culturale qui permettent de ramener les vers blancs à la surface où ils sont exposés aux éléments et à leurs prédateurs, notamment les oiseaux, les mouffettes et les ratons-laveurs.

Puceron du merisier à grappes

Description : Le puceron du merisier à grappes est petit (2 mm ou moins), vert olive foncé, avec des taches rouge orangé vers l'arrière de l'abdomen entre les tubes pairs appelés « cornicules » (voir planche 105, p. 340). Les cornicules et les pattes sont vert pâle et les antennes sont longues et noires. Les pucerons plus jeunes sont vert pâle. Comme tous les pucerons, ils ont le corps mou, sont ailés ou non, et ont des pièces buccales de type perceur-suceur qui sucent les sucs (les éléments nutritifs) contenus dans les tissus jeunes. Les pucerons sécrètent une substance collante appelée « miellat », qui peut se couvrir de fumagine.

RAVAGEURS

Prendre garde de ne pas confondre ce puceron avec le puceron du maïs. Ce dernier est de forme plus rectangulaire, tandis que le puceron du merisier à grappes a une forme globuleuse.

Cycle biologique : Le puceron du merisier à grappes n'hiverne pas en Ontario. Ce sont les femelles ailées qui migrent en provenance du sud des États-Unis.

Dommages : En Ontario, ces pucerons sont rarement directement responsables des dommages. Ils s'agglutinent sur le dessus des feuilles près de la base des jeunes plants. Tôt ou tard, ils atteignent le sommet des plants. On les trouve alors dans les verticilles. De fortes populations peuvent donner au champ une coloration bronzée. Ces pucerons sont des vecteurs du virus du nanisme jaune de l'orge. Voir la rubrique *Nanisme jaune de l'orge*, p. 241.

Technique de dépistage : Pour freiner les dommages directs que causent ces pucerons, parcourir le champ chaque semaine avant l'épiaison. Examiner 20 tiges en cinq points du champ. Secouer les plants au-dessus d'une feuille de papier et dénombrer les pucerons présents. Noter également s'il y a des prédateurs présents et si les pucerons sont parasités ou infectés par un champignon.

Seuils d'intervention : De 12 à 15 pucerons du merisier à grappes par tige avant l'épiaison, et jusqu'à 50 pucerons par épi par la suite.

Stratégies de lutte : Faire une pulvérisation dès que les seuils d'intervention sont atteints. (Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour des recommandations relatives aux insecticides). Afin de prévenir toute infection par le virus du nanisme jaune de l'orge dans les céréales d'automne, éviter les semis hâtifs. Faire les semis passé les dates de semis optimales pour la région, une fois que les vols de pucerons ont cessé (voir la rubrique *Dates de semis*, p. 215). Détruire la repousse de blé 2–3 semaines avant les semis. Les pucerons sont dévorés par plusieurs ennemis naturels, notamment les larves à la fois des coccinelles, des syrphes et des chrysopes.

Mouche de Hesse

Description : Au stade adulte, la mouche de Hesse ressemble à un petit moustique. Elle est gris foncé et frêle. Son abdomen est pointu. L'abdomen de la mouche femelle adulte est rougeâtre, en raison de la couleur des œufs qu'elle porte. Les adultes volent mal et ne vivent que 3 jours.

Cycle biologique : On compte deux générations par année. La mouche de Hesse hiverne dans une coque de nymphose qui ressemble à une graine de lin à la base du feuillage des vieux plants. Les adultes émergent au printemps. Les femelles pondent leur longs œufs rougeâtres en rangées sur la face supérieure des feuilles des jeunes plants de blé d'automne ou de blé spontané. Les larves se développent et se nourrissent pendant environ 3 semaines avant de former une coque de nymphose au milieu de juin. Une deuxième génération apparaît et l'insecte poursuit son cycle jusqu'à la fin septembre lorsqu'il forme une coque de nymphose qui lui fournira un abri pendant l'hiver.

Dommages : Les dommages surviennent au printemps et à l'automne. les larves se nourrissent entre la tige et les spathes. Leurs dommages donnent au plant une couleur bleu-vert foncé. La croissance des plantes s'arrête. Les tiges durcissent puis finissent par verser. Les épis blanchissent parfois. Les facteurs de risque comprennent les cultivars sensibles et les blés semés tôt.

Technique de dépistage : Inspecter les champs au printemps au début du remplissage des épis. À l'automne, commencer le dépistage 3 semaines après que les plants de blé aient levé. Examiner 20 plants en cinq points du champ. Rechercher des coques de nymphose en forme de graines de lin afin de déterminer l'ampleur de l'infestation.

Seuil d'intervention : Aucun n'a été établi.

Stratégies de lutte : Retarder les semis de céréales d'automne jusqu'au moment où les vols de mouche de Hesse ont cessé. Voir la rubrique *Dates de semis*, p. 215, pour connaître les dates de semis optimales par région. Détruire le blé spontané et le chaume avant les semis. Il existe des cultivars résistants. On ne peut par contre compter sur aucun traitement de secours.

Criocère des céréales

Description : Le criocère des céréales adulte est un coléoptère bleu-vert métallique, d'environ 0,5 cm de long, à la tête et aux pattes orange rougeâtre. Les larves mesurent 0,6 cm de long à leur plein développement. Elles sont de couleur jaunâtre, mais cette teinte est obscurcie par une couche d'excréments noire qui leur donne l'aspect des limaces (voir planche 106, p. 340).

Cycle biologique : Les criocères des céréales hivernent au stade adulte dans les débris de feuilles situés dans des zones abritées comme les boisés et les épaisses couches de résidus de végétaux. Ces adultes émergent au début du printemps, après quoi les femelles fertilisées pondent leurs œufs dans les champs de blé, sur la face supérieure des feuilles. Les œufs éclosent donnant naissance à des larves dès le milieu de mai. Les larves entament ensuite la pupaison et, vers la mi-juin, les adultes émergent des pupes. Ces derniers se nourrissent brièvement de blé, puis envahissent les champs de maïs où ils se nourrissent pendant un court laps de temps avant d'entrer en dormance jusqu'à l'automne. À l'automne, les adultes s'activent à nouveau et se dirigent vers les sites d'hivernation. On compte une seule génération de cet insecte par année.

Dommages : Les criocères des céréales se nourrissent de blé, d'avoine, de maïs, de fourrages et de graminées adventices. À la fois les adultes et les larves causent des dommages en dévorant de longues bandes de tissus entre les nervures des feuilles. Comme la couche superficielle de la feuille reste intacte, les dommages font penser à des « carreaux de fenêtre ». Le gros des dommages est causé par les larves en juin. Les champs lourdement endommagés semblent argentés.

Technique de dépistage : Commencer le dépistage à la fin avril. Examiner 20 plants en cinq points du champ. Il est important d'inspecter différentes parties du champ puisque les criocères des céréales ont tendance à y être répartis inégalement. Consigner le nombre de criocères adultes et de larves trouvés sur chaque plant. Faire le dépistage tous les 5 jours, étant donné que les populations peuvent s'accroître considérablement en l'espace de quelques jours.

Seuil d'intervention : Un criocère des céréales au stade adulte ou larvaire par tige justifie une intervention, surtout dans les premiers stades de croissance de la culture (avant l'épiaison).

Stratégies de lutte : Un insecticide peut être nécessaire lorsque le seuil d'intervention est atteint. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les recommandations relatives aux insecticides. Là où l'on pratique le travail réduit du sol, ce ravageur est surtout maîtrisé à l'aide d'ennemis naturels. Un labour propre augmente les risques d'infestation par ce ravageur, car il détruit les sites d'hivernation des ennemis naturels. Dans certaines parties de l'Ontario qui bénéficient d'hivers cléments ou qui servent à la culture du tabac (là où les sols sont labourés), les ennemis naturels sont moins efficaces.

Légionnaire uniponctuée

Description : À son plein développement, la larve de la légionnaire uniponctuée mesure 4 cm (1½ po) de long. Elle est d'un brun-vert terne (voir planche 107, p. 341) et peut être facilement confondue avec d'autres chenilles, dont le ver-gris panaché et la légionnaire d'automne. La légionnaire uniponctuée possède deux traits distinctifs : des bandes latérales bordées de blanc longent le corps et des bandes diagonales sombres au haut de chaque fausse-patte abdominale. La tête est brun-jaune et est réticulée de lignes brun foncé qui créent un motif. Le papillon adulte de couleur sable possède des taches blanches distinctives au centre de chaque aile antérieure.

Cycle biologique : Au début du printemps, les légionnaires uniponctuées adultes préfèrent pondre leurs œufs dans les herbages. Les larves éclosent et se nourrissent la nuit ou les jours couverts pendant approximativement un mois. On compte deux générations de ce ravageur par année, mais c'est la première génération qui a tendance à faire le plus de dégâts dans les cultures de maïs en Ontario.

Dommages : Le gros des dommages est fait dans les céréales durant le mois de juin. Les larves commencent d'abord à se nourrir des feuilles. Elles ne tardent pas à monter dans le plant et à se nourrir des barbes et des grains tendres. On voit aussi des épis sectionnés. Lorsque les cultures sont lourdement endommagées, les légionnaires migrent vers les cultures avoisinantes.

Technique de dépistage : Commencer le dépistage au début de mai. Examiner les plants en cinq points du champ pour déterminer l'ampleur de l'infestation. Dans les céréales de printemps, prêter attention aux

pourtours du champ, près des graminées adventices, où les œufs ont été pondus. Les céréales d'automne peuvent être aussi attirantes pour les papillons de la légionnaire que les mauvaises herbes qui bordent le champ, de telle sorte que l'infestation peut survenir partout. Le jour, on peut trouver les larves parmi les débris de culture qui jonchent le sol ou sous des mottes de terre. Noter la taille et le nombre de larves. Au moment du dépistage, vérifier le dos des larves pour voir si des œufs s'y trouvent. Ces petits œufs ovales et jaunâtres sont habituellement situés juste derrière la tête des larves. Ce sont les œufs d'une mouche parasite. Quand les œufs éclosent, les larves tuent les larves de légionnaires.

Seuil d'intervention : Quatre larves non parasitées d'une longueur inférieure à 4 cm (1½ po) par pied carré, si des épis ont été sectionnés.

Stratégies de lutte : Si les larves ont presque atteint leur longueur maximale (environ 4 cm (1½ po)), il n'y a aucun avantage à appliquer un insecticide, puisque le gros des dommages est déjà fait. Les insecticides ne sont efficaces que contre les larves qui ont moins de 4 cm (1½ po) de longueur. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour les recommandations relatives aux insecticides. Confiner les traitements aux zones infestées. Les parasites et les autres organismes utiles empêchent généralement les légionnaires d'atteindre des niveaux dommageables. Éviter tout traitement insecticide en présence d'un grand nombre de larves parasitées.

Légionnaire d'automne

Description : La larve de la légionnaire d'automne atteint jusqu'à 4 cm (1½ po) de long à son plein développement. Sa couleur varie du chamois clair au vert et peut même aller presque jusqu'au noir (voir planche 19, p. 325). Elle possède trois bandes blanches minces sur le dos et une bande jaune plus épaisse ponctuée de points rouges de chaque côté du corps, juste au-dessus des pattes. La larve de la légionnaire d'automne se distingue de la larve de la légionnaire uniponctuée par la présence sur son front d'un « Y » inversé blanc. La légionnaire d'automne a la tête brun foncé.

Cycle biologique : Au stade adulte, la légionnaire d'automne est un papillon de nuit qui migre des États du sud et fait son apparition plus tard dans la saison dans les champs de maïs à pleine maturité. L'insecte ne résiste pas à l'hiver dans les régions où le sol gèle.

Dommages : À l'automne, soit de septembre jusqu'aux gelées, les larves de la légionnaire d'automne s'attaquent aux plantules de blé. Les larves de la légionnaire d'automne se nourrissent durant la journée, tandis que celles de la légionnaire uniponctuée font leurs ravages la nuit. Les premiers indices de la présence de la légionnaire d'automne sont des feuilles présentant des trous aux pourtours déchiquetés et la présence, à proximité, d'excréments brun rougeâtre et humides.

Technique de dépistage : Examiner 20 plants en cinq points du champ pour déterminer le niveau d'infestation. Noter la taille et le nombre de larves. Pendant l'observation sur le terrain, voir si le dos des larves ne comporte pas d'œufs de parasites. Ces petits œufs, ovales et jaunâtres sont habituellement situés juste derrière la tête de la larve. Il s'agit d'œufs d'une mouche parasite. Lorsque les œufs éclosent, il en sort des asticots qui tuent les larves de légionnaires.

Seuil d'intervention : Deux ou trois larves non parasitées de moins de 4 cm (1½ po) de longueur par pied carré.

Stratégies de lutte : Il est rare de voir des populations de légionnaires d'automne dans les céréales d'automne. Si le seuil d'intervention est atteint, une pulvérisation peut être nécessaire. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les recommandations relatives aux insecticides.

Maladies

Maladies des plantules : Pourriture des semences, brûlure des semis et pourritures des racines

Les organismes qui colonisent les semences et le sol sont responsables de bon nombre des maladies les plus dévastatrices dans les cultures céréalières. Ces organismes sont responsables de la pourriture des semences et des brûlures des semis en début de saison ainsi que de la carie du grain (voir planche 108, p. 341).

La lutte contre ces organismes commence avec l'emploi de semence propre et de bonne qualité. Traiter à l'aide d'un fongicide toute la semence de blé, afin de maîtriser les maladies transmises par le sol ou la semence, notamment les pourritures des semences, les brûlures des semis, les maladies causées par *Septoria* et transmises par la semence, la brûlure des semis causée par *Fusarium* ou fonte des semis, la carie naine, la carie et le charbon nu, qui sont transmis par la semence. La meilleure protection contre les brûlures des semis, le charbon nu et les caries consiste à traiter les semences à l'aide d'une combinaison de fongicides, étant donné qu'aucun fongicide n'est réellement efficace contre toutes ces maladies. Veiller à ce que le produit recouvre bien la graine, sous peine de nuire à l'efficacité du traitement. Ces maladies continuent d'occasionner de lourdes pertes dans les champs où les semences ne subissent pas un traitement fongicide.

Brûlure des semis causée par *Fusarium* (pourriture du collet)

Incidence : La brûlure des semis causée par Fusarium peut avoir été transmise par la semence ou les résidus de culture. Un peuplement qui s'établit mal, une levée inégale, des trous dans le champ ou des manques sont les premiers symptômes d'une infection de la semence ou des plantules (depuis le moment des semis jusqu'à plusieurs semaines après la levée). Il existe plusieurs espèces différentes appartenant au genre *Fusarium* qui causent des maladies (*F. culmorum, F. graminearum* et *F. avenaceum*). *Fusarium culmorum* est la plus à craindre chez les plants plus avancés, tandis que *F. avenaceum* et *F.graminearum* endommagent surtout les plantules.

Aspect : Les semences pourrissent ou les plantules meurent avant leur levée. Chez les plantules qui lèvent, la croissance est stoppée et le collet, les racines ou la base de la tige présentent une pourriture allant du brun au brun rouge. La tige peut comporter des stries brunes ou rougeâtres. Les lésions sont de forme et de taille variables et n'ont pas de pourtours définis. La maladie peut aussi frapper des plants plus vieux, ce qui cause une réduction du nombre ou de la taille des talles qui viennent à maturité prématurément et qui comportent des épis blancs et ratatinés. Les plants infectés sont moins vigoureux.

Cycle de la maladie : Ces champignons infectent de nombreuses céréales, graminées et autres plantes, dont le maïs. Ils survivent dans les graines, dans les résidus de culture et dans le sol. À l'automne, ils envahissent le collet, les racines ou les gaines foliaires. À ce stade, ils peuvent provoquer la pourriture des semences et la brûlure des semis. Au printemps, les lésions continuent de s'étendre, donnant lieu à la pourriture du collet, de la tige et des racines. Les sols humides à l'automne favorisent l'infection du plant, mais les sols secs et de fortes concentrations d'engrais azoté favorisent la progression de la maladie au printemps. Les champignons, surtout *F. graminearum*, infectent aussi les épis et contaminent les graines (voir la fiche technique du MAAARO, *Les maladies de l'épi du blé d'automne*, commande n° 97-068, ou visiter le site Web www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/index.html. La maladie risque de causer davantage de dégâts lorsque le blé suit le blé, l'orge ou le maïs.

Stratégies de lutte : Retarder les semis jusqu'au moment où les conditions sont favorables à une levée rapide et uniforme. Maintenir un programme de fertilisation équilibré. Il existe des traitements des semences à base de fongicides qui sont très efficaces contre les pathogènes transmis par les semences ou par le sol. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour plus d'information sur les traitements des semences. Les autres stratégies de lutte consistent à utiliser des cultivars tolérants et à semer des graines exemptes de ces maladies. Inscrire le blé dans une rotation sur au moins 3 ans étant donné que les pathogènes peuvent survivre dans les résidus de blé. Éviter de semer du blé après du maïs.

Piétin brun

Incidence : Les dommages par le piétin brun sont fréquents en Ontario. Il s'agit de l'une des principales maladies qui affectent les plantules des petites céréales. Plusieurs espèces appartenant au genre *Pythium* s'attaquent aux petites céréales et, même si *Pythium* est présent dans tous les sols, les pertes les plus grandes surviennent dans les sols argileux froids et détrempés. *Pythium* (comme *Phytophthora*) cause une pourriture aqueuse qui est favorisée par un milieu mouillé et saturé d'eau. L'infection est donc étroitement liée au taux d'humidité du sol et à sa teneur en argile. Plus le sol est détrempé et plus il renferme d'argile, plus les risques d'infection sont grands. *Pythium* produits des spores mobiles qui migrent dans l'eau pelliculaire du sol.

Aspect : Même si l'infection gagne d'abord l'embryon 1 ou 2 jours après les semis, les plantules en meurent rarement. Les plants infectés paraissent rabougris et ont de petites feuilles allant du vert pâle au jaune. Ces symptômes laissent souvent croire à tort à une carence nutritive. Souvent, les symptômes peuvent du reste passer inaperçus jusqu'au printemps, moment où les plants non infectés commencent à croître rapidement. Les racines infectées sont brun clair et comportent peu de poils absorbants, sinon aucun. L'infection commence à la pointe des racines et détruit les poils absorbants et les radicelles fines, qui jouent un rôle primordial dans l'absorption des éléments nutritifs. Les plants atteints se trouvent souvent par plaques et ont un aspect maladif. Il arrive que les plants gravement atteints se brisent au niveau du sol.

Cycle de la maladie : Les champignons survivent dans le sol et dans les résidus de végétaux. Ils produisent des spores (zoospores) qui, en se déplaçant dans l'eau pelliculaire du sol, envahissent les racines du blé. Certaines espèces sont plus dévastatrices dans les sols chauds, tandis que d'autres préfèrent les sols froids. Les dégâts causés sont moins importants lorsque la teneur du sol en phosphate est propice au bon développement des racines.

Stratégies de lutte : Minimiser le compactage du sol et débarrasser le sol de l'excès d'eau par un drainage accru. Les traitements des semences contenant du métalaxyl ou du métalaxyl-M peuvent réduire les infections. Retarder les semis jusqu'à ce que les conditions de sol assurent une levée rapide et uniforme. Pour plus d'information sur les fongicides, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Piétin-échaudage

Incidence : Il y a deux champignons étroitement apparentés qui causent le piétin-échaudage en Ontario. Le premier infecte le blé, l'orge, le seigle et diverses graminées, tandis que le second s'attaque à l'avoine et aux herbes à gazon.

Aspect : Le piétin-échaudage se manifeste habituellement au stade de l'épiaison lorsque les épis, les tiges et les feuilles des plants gravement atteints blanchissent prématurément (voir planche 109, p. 341). Il ne faut que 2 ou 3 jours pour que les talles blanchissent. Les plants atteints sont groupés en plaques circulaires de un à plusieurs mètres de diamètre, ou se retrouvent de manière isolée ou par petits groupes dispersés à la grandeur du champ. Bien des plants semblent de moyennement à gravement rabougris et portent peu de talles. Les épis blanchis (épis blancs ou morts) sont normalement stériles et apparaissent habituellement de 3 à 5 semaines avant la récolte. Les épis blancs peuvent par ailleurs être attribuables à d'autres facteurs que le piétin-échaudage. Des moisissures de couleur sombre ont tendance à croître sur les épis blancs, particulièrement par temps pluvieux. Le blanchiment à peine perceptible se manifeste par suite d'une infection par une maladie des racines, du collet et de la base de la tige.

Les racines des plants atteints sont éparses, noircies et cassantes. La pourriture sombre s'étend souvent au collet et à la base de la tige. L'enlèvement de la gaine foliaire la plus basse révèle sur la tige une couche foncée et luisante de champignons qui se gratte facilement. Les tiges affaiblies penchent ou versent en différentes directions comme dans le cas de la tache ocellée. La maladie est souvent confinée aux racines. Aucun symptôme n'apparaît alors sur les collets, les tiges, ni les épis. Le champignon responsable du piétin-échaudage dans le blé produit des spores (ascospores) à l'intérieur de minuscules structures noires (périthèces) sur la gaine foliaire de la feuille du bas et sur les résidus de chaume à la surface du sol.

Cycle de la maladie : Les résidus de culture infestés qui restent dans le sol sont la principale source de champignons. Ceux-ci survivent le mieux dans les résidus lorsque la teneur du sol en azote est élevée. Des filaments bruns mycéliens (les hyphes) se forment dans les résidus, dans le sol et à la surface des

racines, du collet et des tiges. Le champignon se propage d'un plant à l'autre par les « ponts » que forment les racines. Il est souvent possible de voir à la loupe les filaments bruns sur les racines. Ceux-ci sont présents même lorsque les racines restent blanchâtres. Les racines noircissent après que le champignon y a pénétré. Une pourriture sèche brunâtre se forme sur les collets et les tiges envahies.

La gravité du piétin-échaudage augmente généralement au fur et à mesure que l'alcalinité du sol augmente (que le pH s'élève) et que la fertilité du sol (surtout les concentrations d'azote et de phosphore) diminuent. Les sols détrempés, surtout au printemps et au début de l'été, sont très propices à cette maladie. Le compactage du sol aggrave le piétin-échaudage qui est par ailleurs davantage favorisé par du temps frais (12–18 °C) que par du temps doux. La maladie est plus grave lorsque le blé est semé tôt que lorsqu'il est semé près de la fin septembre ou en octobre. Dans les monocultures de blé, le piétin-échaudage prend de plus en plus d'ampleur les 3–5 premières années, mais décline par la suite. Cette maladie prédispose le blé à souffrir de stress, surtout en juin et en juillet.

Stratégies de lutte : Surveiller de près la fertilité du sol. Des sols allant de neutres à alcalins et des sols pauvres sont plus à risque. Ne pas épandre de chaux avant les semis. Les sols carencés en potassium et en phosphore rendent les plants plus vulnérables en raison de la mauvaise croissance des racines. L'azote des nitrates augmente la gravité de la maladie. Maîtriser les graminées et éviter les semis hâtifs. Pratiquer une rotation sur 3 ans et éviter que le blé ne suive le blé.

Tache ocellée
Rhizoctone ocellé

Incidence : Les champignons responsables de ces maladies sont présents dans la plupart des sols de l'Ontario et peuvent faire souffrir de nombreuses cultures. Les maladies qu'ils apportent deviennent problématiques dans les champs ou les régions où les cultures céréalières prédominent et où les conditions de croissance sont fraîches et humides.

Aspect : La tache ocellée et le rhizoctone ocellé produisent des lésions sur les gaines foliaires inférieures et les tiges de la plupart des céréales (voir planche 110, p. 341). Le blé d'automne est plus sensible que les céréales de printemps. Au printemps, les deux maladies produisent des lésions elliptiques en forme d'œil sur les entrenœuds inférieurs près de la ligne de sol. Ces lésions ont une bordure brun foncé et un cœur chamois ou couleur paille.

Il est difficile de faire la distinction entre les deux maladies. Les taches de rhizoctone ocellé sont plus superficielles et leurs pourtours sont nettement définis; les plants infectés par la tache ocellée présentent un feutre mycélien dans la cavité de la tige à sa base. Dans les cas graves, les plants infectés par ces maladies peuvent verser, plier ou casser à la ligne de sol en raison de l'affaiblissement de la tige dans les zones entourant les lésions. Ces maladies se manifestent aussi par des baisses de rendement, des épis blancs et la mort des talles.

Cycle de la maladie : Le champignon de la tache ocellée survit dans les résidus de végétaux infectés pendant 3 ans ou plus et prolifère dans des conditions fraîches et humides. Le champignon du rhizoctone ocellé survit dans le sol et sur les résidus de culture infectés. Cette maladie frappe plus durement dans les sols légers, secs et acides les printemps frais. Du temps sec à l'automne et au printemps favorise le développement du rhizoctone ocellé.

Stratégies de lutte : Éviter de semer des céréales 2 années d'affilée, l'idéal étant de laisser au moins 2 ans entre les cultures de céréales. Les pratiques qui enfouissent le chaume dans le sol réduisent efficacement la gravité de la tache ocellée. Cette maladie peut être grave lorsque le chaume reste à la surface. Le rhizoctone ocellé peut être grave lorsque les semis sont hâtifs et profonds. Des traitements des semences à l'aide de fongicides peuvent réduire les pertes (voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*).

Moisissures des neiges

Incidence : Même si les moisissures des neiges ne se manifestent que sous des conditions environnementales particulières, elles sont présentes à des degrés divers chaque année. Elles frappent plus durement les années où une couche de neige apparaît tôt à l'automne (mi-novembre) et persiste jusqu'à la fin de mars ou jusqu'en avril.

MALADIES

Aspect : Les symptômes de la moisissure des neiges se manifestent peu après la fonte des neiges. Des plants isolés, des groupes de plants ou de larges superficies peuvent être atteints. La maladie se reconnaît d'abord et avant tout aux plants morts qui sont visqueux, bruns et pourris (voir planche 111, p. 341). Le blé semé tôt est habituellement touché étant donné qu'une croissance végétative luxuriante favorise l'infection et contribue à la propagation de la maladie d'un plant à l'autre. Les plants qui ne meurent pas (c.-à-d. ceux qui sont d'apparence saine) peuvent présenter une ou de nombreuses feuilles qui sont totalement ou partiellement nécrosées (c.-à-d. dont les pointes sont brunes). Les symptômes sont plus prononcés dans les zones du champ qui ont reçu une épaisse couche de neige, notamment sur les pourtours du champ, dans les tournières et au bas des collines. Les dommages typiques causés par l'hiver dans le blé et attribuables à d'autres causes se manifesteront vraisemblablement dans les zones où la neige ne s'est pas accumulée ou qui ont été couvertes de glace. Les symptômes sont prononcés dans les champs ensemencés avec de la graine non traitée ou de mauvaise qualité. Du temps doux et sec au printemps freine la maladie et favorise une croissance rapide des plants. Les plants lourdement endommagés se remettent souvent de la maladie avec peu de répercussions sur le rendement, sinon aucune.

Cycle de la maladie : Le groupe de champignons qui causent la moisissure des neiges sont tolérants à la température et se multiplient sous une épaisse couche de neige. Des couches de neige de plus de 30 cm isolent le sol et l'empêchent de geler tout en maintenant la température à la surface du sol à 0 °C (32 °F) ou tout juste au-dessus. Dans ces conditions, la photosynthèse est considérablement réduite et le plant de blé en croissance n'a pas le choix que d'utiliser les glucides et protéines en réserve pour survivre. Le plant subit donc un stress et est donc plus vulnérable aux maladies, surtout aux moisissures des neiges.

Stratégies de lutte : Même si aucun cultivar de blé d'automne n'est résistant à ces maladies, ils n'affichent pas tous la même tolérance. Les traitements des semences sont très efficaces contre les moisissures des neiges, mais ils doivent être appliqués sur la semence et un bon recouvrement est essentiel. Les années où les moisissures des neiges causent des réductions considérables de la densité de peuplement, il faut réensemencer le champ d'une céréale de printemps ou de soya. La maladie n'affecte pas les céréales semées au printemps.

Rouilles des feuilles et de la tige

Incidence : Il existe différents organismes qui provoquent la rouille dans les cultures de blé et d'orge. Les rouilles des feuilles et de la tige sont observées chaque année dans toutes les régions de l'Ontario. La rouille de la tige peut être un problème grave lorsque de petites céréales sont cultivées près de broussailles d'épine-vinette. Des deux maladies provoquant la rouille, la rouille des feuilles demeure la plus menaçante pour les cultures de petites céréales.

Aspect : La rouille des feuilles affecte le limbe et la gaine foliaire, tandis que la rouille de la tige peut se développer sur les feuilles, les gaines foliaires, la tige et les épis. La rouille des feuilles se manifeste d'abord par de petites taches jaune-brun (pustules) qui renferment des spores allant du orangé au brun orangé (voir planche 112, p. 341). Dans la plupart des cas, l'infection apparaît sur le dessus des feuilles et des gaines foliaires. Dans les cas graves, les feuilles jaunissent et brunissent (nécrosées). Dans les céréales de printemps, les champs semés tard sont plus vulnérables à cette maladie. Parmi les cultivars de blé d'automne, ce sont ceux qui parviennent à maturité tardivement qui sont les plus à risque.

La rouille de la tige se manifeste d'abord par l'apparition de taches brun rougeâtre sur les deux faces des feuilles, la tige et les épis (voir planche 113, p. 342). Quand les taches s'étendent, elles éclatent et libèrent des spores dans l'air. La surface des tissus paraît alors déchiquetée.

Cycle de la maladie : Le champignon responsable de la rouille de la tige a besoin de l'épine-vinette pour compléter son cycle biologique. Le champignon responsable de la rouille des feuilles, par contre, n'hiverne pas dans la province, mais est porté par les vents orageux en provenance des plants infectés des régions productrices de blé du sud des États-Unis et du Mexique. La plupart des années, les spores de la rouille des feuilles arrivent tard (après la floraison) et engendrent donc peu de pertes économiques. Ces maladies frappent plus durement lorsque les températures sont douces (20–28 °C ou 68–82 °F le jour, et 16–22 °C ou 61–72 °F la nuit) et que la culture est soumise à des rosées fréquentes du stade sortie de la feuille de l'épi (stade 37 sur l'échelle de Zadok) à la floraison (stades 61–71 sur l'échelle de Zadok).

Stratégies de lutte : Éliminer l'hôte intermédiaire, l'épine-vinette, pour réduire l'incidence de la rouille de la tige. Utiliser dans la mesure du possible des cultivars résistants. Comme la rouille des feuilles apparaît habituellement en premier sur les deux feuilles du haut, il est important, au cours des opérations de dépistage, de surveiller les signes de la maladie sur la deuxième feuille en partant du haut du plant, et ce, avant la sortie de l'épi, et la dernière feuille durant la sortie de l'épi. Traiter les feuilles à l'aide de fongicides foliaires lorsque la feuille de l'épi compte 5–10 pustules ou que 1 % de la zone de la feuille de l'épi est touché (de la sortie de l'épi jusqu'à la fin de la floraison) et que du temps humide et pluvieux s'annonce. Le fait de semer les céréales de printemps tôt permet aux plants de parvenir à maturité avant que les niveaux d'inoculum ne soient élevés. Dans l'avoine, la rouille couronnée est liée à la présence de nerprun commun qui est l'hôte intermédiaire de l'agent pathogène. Il faut donc enlever et détruire le nerprun commun. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les recommandations relatives aux traitements fongicides.

Nanisme jaune de l'orge

Incidence : On dit du nanisme jaune de l'orge qu'il est la maladie virale des céréales la plus largement répandue et la plus dévastatrice. On le trouve au Canada, aux États-Unis, en Europe, en Australie, en Asie, en Nouvelle-Zélande, en Afrique et en Amérique du Sud. Le virus du nanisme jaune de l'orge infecte une vaste gamme d'hôtes appartenant à la famille des graminées, dont le blé, l'avoine et l'orge. De ces trois céréales, l'avoine est considérée comme étant la plus sensible.

Aspect : Les premiers symptômes sont le rabougrissement du plant accompagné de la coloration jaune, rouge ou violacée de la pointe des feuilles (voir planche 114 et planche 115, p. 342). Le nanisme jaune de l'orge est souvent confondu avec d'autres maladies virales causées par le virus de la filosité panachée du blé ou le virus *Polymyxa* de la mosaïque du blé (voir le tableau 6–23, *Comparaison des maladies causées par le virus du nanisme jaune de l'orge, le virus de la filosité panachée du blé et le virus Polymyxa de la mosaïque du blé*, p. 242). Il peut aussi être confondu avec des carences nutritives et des désordres de source environnementale. Il est très difficile d'identifier les maladies à virus et il faut s'en remettre à des analyses sérologiques précises. L'idéal est de transmettre des échantillons à un laboratoire de diagnostic offrant de telles analyses.

Cycle de la maladie : Le virus du nanisme jaune de l'orge est transmis uniquement par les pucerons. Plusieurs espèces de pucerons ont été identifiées comme vecteurs de cette maladie, notamment le puceron vert des graminées, le puceron du maïs, le puceron des céréales et le puceron du merisier à grappes. Les pucerons causent des dommages en s'alimentant, étant donné qu'ils se nourrissent directement de la sève de leurs hôtes et qu'ils les privent des éléments nutritifs dont ils ont besoin pour croître. Le contact avec la sève des végétaux fait des pucerons les vecteurs parfaits pour le virus du nanisme jaune de l'orge. Les plants infectés par ce virus se trouvent par plaques de 1–2 m de diamètre, mais peuvent aussi être distribuées uniformément à la grandeur du champ si les pucerons y pullulent partout. Les pertes de rendement sont très étroitement liées au stade de la culture où se produit l'infection. En général, les pertes sont plus importantes lorsque l'infection se propage aux jeunes plantules à l'automne (> 30 %) plutôt qu'au printemps.

Stratégies de lutte : Il existe peu de méthodes de lutte. La meilleure stratégie consiste à éviter de semer tôt. Les semis hâtifs laissent en effet plus de temps aux pucerons pour infecter les plants à l'automne. Les dates de semis optimales ou recommandées pour le blé d'automne, tiennent compte des dommages causés par le virus du nanisme jaune de l'orge et par la mouche de Hesse, et visent l'obtention d'un plant vigoureux qui affichera un maximum de rusticité hivernale (voir la rubrique *Dates de semis*, p. 215). Le fait de semer plus tôt, les automnes doux permet aux pucerons de survivre plus longtemps qu'habituellement. Les semis hâtifs constituent un avantage dans les céréales de printemps. Les pulvérisations de produits chimiques visant à enrayer les vecteurs que sont les pucerons ne sont ni pratiques, ni économiques, car le dépistage des pucerons est très difficile. Quand les populations de pucerons atteignent des niveaux où ils sont visibles, la transmission du virus a fort probablement déjà commencé. Les pulvérisations préventives ne sont pas non plus rentables étant donné que cette maladie est difficile à prévoir.

Tableau 6–23.
Comparaison des maladies causées par le virus du nanisme jaune de l'orge, le virus de la filosité panachée du blé et le virus *Polymyxa* de la mosaïque du blé

Virus	Transmission	Principaux symptômes	Hôtes additionnels
Virus du nanisme jaune de l'orge	Pucerons	Chlorose générale, coloration rouge ou pourpre, rabougrissement	Orge, avoine, maïs, sorgho, millet, graminées
Virus de la filosité panachée du blé	Champignon terricole (*Polymyxa graminis*)	Mosaïque vert-jaune, rabougrissement, formation de rosettes	Seigle, orge, graminées, sorgho
Virus *Polymyxa* de la mosaïque du blé	Champignon terricole (*Polymyxa graminis*)	Mosaïque jaune-vert, bigarrures, filosité	Seigle, orge

Mosaïque-rosette causée par le virus *Polymyxa* de la mosaïque du blé et filosité-bigarrure causée par le virus de la filosité panachée du blé

Incidence : Les deux virus en cause sont souvent pris l'un pour l'autre étant donné qu'ils produisent les mêmes symptômes, ont le même cycle biologique et présentent le même schéma dans le champ. Il arrive par ailleurs que les deux virus soient présents dans le même champ.

Aspect : Les symptômes typiques de la filosité-bigarrure (causée par le virus polymyxa de la mosaïque du blé) sur les feuilles de blé sont une mosaïque d'îlots verts ou de taches sur fond jaune. Les symptômes foliaires typiques de la filosité-bigarrure sont des stries de jaune à vert pâle qui sont parallèles aux nervures des feuilles. Les stries sont souvent fuselées, ce qui donne aux lésions l'aspect de filosités, d'où le nom de cette maladie. Ces symptômes se distinguent des lésions causées par le virus *Polymyxa* de la mosaïque du blé qui forment plutôt des taches. Le virus de la filosité panachée du blé peut aussi causer le rabougrissement des plants et nuire au tallage des plants infectés.

Cycle de la maladie : Il n'est pas rare de trouver de nombreux plants qui sont infectés par les deux virus, étant donné que ceux-ci sont propagés par le même vecteur. Le lien commun est un champignon terricole appelé *Polymyxa graminis*. Ce champignon produit des zoospores (spores mobiles dans l'eau) qui envahissent les poils absorbants et les cellules épidermiques des jeunes plants durant les périodes où le sol est fortement chargé d'humidité ou dans les zones basses et détrempées du champ. Le virus est transmis aux plants par les zoospores. Le champignon peut demeurer dans le sol pendant au moins 8 ans. L'important n'est pas tant de déterminer lequel des deux virus est présent, mais bien de déterminer que les symptômes ne sont pas attribuables à d'autres causes (champignons, bactéries ou autres). Le premier signalement de la filosité-bigarrure en Amérique du Nord remonte à 1957, ici même en Ontario. Les champs à risque sont ceux qui ont servi à plusieurs reprises à la culture du blé d'automne au cours des 8–10 dernières années. Les pertes de rendement s'échelonnent de 5 à 40 %, mais en général elles sont faibles. Les symptômes apparaissent habituellement tôt au printemps lorsque la croissance reprend. La température optimale pour l'apparition des symptômes va de 5 à 15 °C (41 à 49 °F).

Stratégies de lutte : Comme le champignon qui est le vecteur des deux virus peut survivre de nombreuses années dans le sol, la rotation des cultures ne permet pas toujours de combattre la maladie. L'incidence du virus de la filosité panachée du blé semble moins grande dans les champs qui ont reçu au fil des ans d'abondants épandages de fumiers de volaille et de bétail.

Carie naine et carie du blé

Incidence : La carie du blé (charbon couvert) sévit partout au Canada où il se cultive à la fois du blé de printemps et du blé d'automne. Par comparaison, la carie naine du blé n'a été diagnostiquée jusqu'ici que dans deux provinces, soit la Colombie-Britannique et l'Ontario. En Ontario, la carie naine s'observe surtout dans les comtés bordant la Baie Géorgienne et le Lac Huron où la couverture de neige est épaisse et persistante à la fin de l'hiver et au début du printemps. Les années où la maladie frappe durement, certains champs comportent plus de 50 % des plants qui sont touchés par la carie.

Aspect : Au Canada, il y a trois espèces de champignons qui peuvent causer la carie dans le blé d'automne. Les deux premiers, Tilletia tritici et Tilletia laevis, causent la carie ou charbon couvert. Le troisième, Tilletia controversa, cause la carie naine dans le blé d'automne. Le principal symptôme causé par ces trois pathogènes est la production de balles sporifères, qui remplacent les grains sains. Ces balles renferment des masses de spores poudreuses noirâtres, appelées téliospores. Lorsque le grain infecté est récolté ou broyé, ces balles se brisent facilement et libèrent leur contenu de spores, ce qui provoque la contamination des grains. Outre la présence des balles sporifères, l'un des signes les plus évidents de ces maladies est l'odeur de poisson que les spores dégagent. L'odeur est importante, puisque la maladie est justiciable de quarantaine. Bon nombre de pays importateurs affichent une tolérance zéro aux chargements de blé contaminés par la carie. Souvent, le nuage de spores et l'odeur caractéristique sont les premiers signes qu'une culture peut souffrir ce cette maladie.

La carie du blé et la carie commune du blé sont difficiles à distinguer l'une de l'autre, de telle sorte que le diagnostic doit souvent être confirmé par un examen microscopique. Une différence entre les deux maladies réside dans le fait que les balles sporifères de la carie du blé sont de taille et de forme semblable à celles des grains qu'elles remplacent, tandis que dans le cas de la carie naine, les balles sporifères sont plus petites et ont tendance à être plus arrondies. Les plants infectés par la carie naine sont considérablement plus courts (la moitié de la taille des plants sains), tandis que les plants infectés par la carie du blé ne sont que légèrement plus petits que les plants sains. Un quatrième champignon cause la carie indienne ou carie de karnal. Heureusement, il n'y a pas d'incidence de cette maladie au Canada où elle n'a d'ailleurs jamais été diagnostiquée.

Cycle de la maladie : La carie naine et la carie du blé peuvent être transmises aux plants de blé d'automne soit par le sol, soit par la semence. Même si la carie du blé peut être transmise par le sol, le champignon semble être surtout transmis par la semence et peut être maîtrisé sans peine au moyen de l'un des traitements des semences actuellement homologués. La carie naine est plus difficile à combattre, puisque les spores du champignon peuvent survivre pendant 10 ans ou plus dans le sol.

Stratégies de lutte : Commencer par semer les semences qui sont exemptes de balles sporifères. Ne pas garder la semence si elle est infectée par la carie. Certains traitements des semences homologués sont plus efficaces que d'autres. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour plus de détails.

Conseils

1) Régler l'organe de coupe de la moissonneuse-batteuse à bonne hauteur.

Les plants de blé infectés par la carie naine sont beaucoup plus courts que les plants sains. Le fait de relever l'organe de coupe réduit la quantité de balles qui sont récoltées.

2) Récolter à une teneur en eau inférieure à 15 %.

Les balles sporifères et les spores qui sont sèches ont tendance à être rejetées plus facilement par la moissonneuse-batteuse. Plus le grain est mouillé, plus les probabilités sont grandes que les balles sporifères adhèrent au grain. Il est difficile de rejeter les balles humides à l'aide de la moissonneuse-batteuse étant donné qu'elles sont très lourdes.

3) Régler le ventilateur à sa vitesse de rotation maximale.

Le réglage du ventilateur à sa vitesse de rotation maximale permet de rejeter une bonne partie des balles sporifères. La perte de grains sains sera minimale.

4) Récolter séparément les zones adjacentes aux haies-clôtures et aux boisés.

L'incidence de la maladie est plus grande là où les accumulations de neige sont plus grandes et plus prolongées. En récoltant le reste du champ séparément, on s'assure de minimiser le nombre de balles sporifères qui se retrouveront dans l'échantillon.

5) Nettoyer le grain avant de l'entreposer.

Il est important de débarrasser autant que possible l'échantillon des balles sporifères avant d'entreposer le grain. Les balles se brisent lorsqu'on manipule le grain ou qu'on le sort des cellules stockage. Les balles sporifères sont de même calibre que les graines de renouée liseron. Les cribles qui permettent d'enlever les graines de renouée liseron devraient donc retirer bon nombre des balles sporifères de l'échantillon.

6) Soumettre le grain entreposé à une bonne aération.

Il faudra compter passablement de temps pour que l'échantillon soit débarrassé de l'odeur de poisson.

MALADIES

Charbon nu

Incidence : Par le passé, le charbon nu a compté parmi les maladies les plus dévastatrices du blé et de l'orge en Ontario. La mise au point et l'utilisation de traitements des semences à base de fongicides ont permis de maîtriser efficacement cette maladie. Malheureusement, certains producteurs continuent d'utiliser des semences de blé infectées et non traitées, et connaissent des pertes de 10–30 %.

Aspect : Les grains sont remplacés par des masses de spores sèches et noires, visibles peu après la sortie des épis (voir planche 116, p. 342). Avec le temps, il ne reste plus que des épis nus. Les plants infectés paraissent normaux jusqu'au moment de l'épiaison.

Cycle de la maladie : Le champignon qui cause la maladie survit dans les grains de blé infectés et infecte par la suite les plants en croissance. Le champignon s'installe dans toute la plante et finit par infecter l'épi et à remplacer les grains. Les spores sont disséminées par le vent et infectent les plants adjacents. Les semences infectées paraissent normales et ne peuvent être distinguées de celles qui sont saines. Le blé et l'orge sont les hôtes principaux, tandis que l'avoine et le seigle sont assez tolérants.

Stratégies de lutte : Semer de la semence sélectionnée préalablement traitée au moyen d'un traitement des semences renfermant un fongicide. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Ergot

Incidence : L'ergot infecte à l'occasion l'orge, le blé et la triticale. Même si les pertes de rendement sont dans la plupart des cas négligeables, les répercussions de cette maladie sur la qualité du grain et sa facilité d'écoulement peuvent être graves étant donné que les grains ergotés renferment des produits chimiques toxiques pour les animaux et les humains. Faire preuve de prudence au moment de servir aux animaux, surtout aux porcs, des grains contenant des corps noirs. Les foyers d'ergot sont rares et sporadiques en Ontario, mais dans certains champs qui ont été endommagés entre autres par le gel ou des herbicides, l'ergot peut être grave au point de rendre les épis stériles. Les fleurons stériles ont tendance à rester ouverts, ce qui les rend plus vulnérables à l'infection.

Aspect : Le premier signe de cette maladie fongique est souvent l'apparition des sclérotes qui vont de brun à violet foncé et qui sortent des épillets. Ces sclérotes remplacent les grains et peuvent atteindre jusqu'à 1 cm de long.

Cycle de la maladie : Le champignon hiverne sous forme de sclérotes dans le sol et sur les semences. Les sclérotes produisent des spores qui sont dispersées et infectent les fleurons. Les insectes contribuent ensuite à infecter d'autres épis. Du temps pluvieux, humide et frais prolonge la floraison et de ce fait les risques d'infection. Les sclérotes de l'ergot sont bien adaptées et peuvent survivre de nombreuses années dans le sol.

Stratégies de lutte : Utiliser de la semence propre et exempte de sclérotes. Laisser s'écouler au moins un an entre des cultures sensibles (seigle, blé, orge, triticale).

Blanc

Incidence : Le blanc est une maladie fréquente des végétaux qui peut causer des dommages lorsqu'elle est présente dans les champs de blé et d'orge. Les cultivars de blé n'ont pas tous la même vulnérabilité à cette maladie. Les répercussions sur le rendement des infections par le blanc sont difficiles à prévoir. La maladie prive la plante des éléments nutritifs et réduit la capacité photosynthétique de la feuille. Les pertes de rendement sont généralement minimes lorsque les infections se font tôt, à moins que le temps ne reste frais et humide. Les infections par le blanc qui atteignent la feuille de l'épi et la deuxième feuille sont plus graves. La santé des deux feuilles du haut détermine le calibre, le poids spécifique et le rendement du grain. Les pertes dues au blanc peuvent aller de 2 à 30 % du rendement total. Il est rare en Ontario que les pertes dépassent les 10 ou 15 %.

Aspect : Le symptôme caractéristique du blanc est le feutre mycélien duveteux qui va de blanc à gris et qui se forme souvent d'abord sur les feuilles du bas (voir planche 117, p. 342). Lorsque les conditions sont favorables à l'infection, celle-ci peut se propager rapidement vers le haut, sur les feuilles du plant, les gaines foliaires, la tige et les épis. Les feuilles affichent alors des stries jaunes allongées ou des zones qui

peuvent brunir et mourir prématurément. Les plants gravement atteints peuvent verser ou souffrir d'un mauvais remplissage des grains. Les zones gris pâle plus vieilles du feutre mycélien sont souvent ponctuées de petites taches noires. Le duvet qui va de blanc à gris pâle est surtout perceptible au petit matin lorsque les plants sont encore mouillés. L'infection est superficielle et la prolifération fongique est facile à enlever avec les doigts ou un couteau.

Cycle de la maladie : Le champignon survit dans les résidus de culture, comme la paille ou le chaume, les plantules de blé d'automne semé en automne, les repousses de céréales et de blé. Les spores qui sont libérées sont essentiellement disséminées par le vent. Les spores ont besoin d'un taux d'humidité relative frôlant les 100 % et de températures entre 15 et 21 °C (59–70 °F). Un peuplement dense et une culture vigoureuse peuvent nuire à l'assèchement des feuilles et créer des conditions propices au blanc. Cette maladie est très sensible aux conditions météorologiques qui fournissent un milieu sec à la culture, notamment des jours chauds, secs et ensoleillés. Le blanc prospère aussi dans les champs ayant reçu de fortes doses d'azote. Non seulement l'azote favorise-t-il le tallage, mais il donne également des peuplements denses et augmente de ce fait la vulnérabilité de la culture. Faire le dépistage du blanc dans les champs qui ont reçu plus de 78 kg d'azote/ha (70 lb/ac). La propagation du blanc s'arrête dès que les températures atteignent plus de 25 °C (77 °F).

Stratégies de lutte : Dans la plupart des cas, le blanc a peu de répercussions sur le seigle ou l'avoine, étant donné que ces cultures y sont très résistantes. Dans les zones fortement infectées par le blanc, utiliser des cultivars de blé d'automne résistants (tolérants). L'enlèvement des résidus de culture par le travail du sol conjugué à la pratique d'une rotation des cultures qui délaisse la culture du blé ou d'autres céréales sensibles pendant au moins 2 ans peuvent contribuer à réduire l'incidence de la maladie. Des applications foliaires de fongicides sont nécessaires lorsque les niveaux d'infection risquent d'entraîner des pertes de rendement. Les seuils établis pour les applications de fongicides diffèrent selon l'âge de la culture. La maîtrise du blanc en début de saison est justifiée à partir du moment où l'infection atteint 5–10 % de la surface des feuilles du bas. Ce traitement peut réduire l'ampleur de la maladie par la suite. Plus tard dans la saison, les symptômes du blanc sur la feuille de l'épi (1 % de la surface de la feuille atteinte) et sur la deuxième feuille (3–5 % de la surface de la feuille) exigent une intervention immédiate, surtout si l'on annonce une période prolongée de pluie ou de temps humide. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour plus d'information sur les produits fongicides.

Tache septorienne
Tache des glumes causée par *Stagonospora* (*Septoria*)

Incidence : La tache septorienne et la tache des glumes sont deux maladies causées par des espèces différentes de champignons appartenant au genre *Septoria*. Les deux maladies sont courantes en Ontario et d'importance économique. Elles frappent la plupart des petites céréales et bien des graminées, mais le blé est le seul hôte important parmi les cultures commerciales.

Aspect : La tache septorienne s'attaque uniquement aux feuilles, tandis que la tache des glumes s'attaque à la fois aux feuilles et aux glumes. Au début, les infections par la tache septorienne se manifestent par de petites taches qui vont de vert pâle à jaune entre les nervures des feuilles du bas (voir planche 118, p. 343). Ces taches s'allongent pour former des lésions brun rougeâtre. À l'intérieur de ces lésions, on peut facilement observer à la loupe les pycnides, organes de fructification du champignon, qui vont du brun foncé au noir.

La tache des glumes apparaît après que les épis sont sortis. Elle est favorisée par des conditions douces et humides. De petites taches ovales, irrégulières, allant du gris au brun, apparaissent sur les feuilles et des zones brun violacé se forment sur les glumes (voir planche 119, p. 343). Les zones atteintes sont également ponctuées de petits pycnides noirs. La présence des pycnides est un élément important du diagnostic qui permet de distinguer la tache septorienne et la tache des glumes d'autres maladies foliaires.

Cycle de la maladie : Les champignons du genre Septoria survivent dans les semences, la paille, le chaume ou les repousses de blé. Ils sont favorisés par des conditions pluvieuses ou humides et des températures modérées. Avec le blanc, les maladies foliaires causées par Septoria sont souvent les premières à se manifester au printemps du fait que le temps frais, humide et pluvieux leur est favorable.

Même si les chaleurs limitent la propagation des deux pathogènes, *Stagonospora* peut tolérer des températures légèrement supérieures à celles que tolère *Septoria*. Des périodes de pluie prolongée en mai et au début de juin ont pour effet d'accroître l'incidence de

la maladie. Les phases foliaires des deux maladies progressent normalement de bas en haut. Le stade où la tache des glumes se manifeste sur les glumes, par contre, ne progresse pas à la verticale dans le feuillage, mais se propage rapidement dans le champ n'infectant que les épis.

Stratégies de lutte : La rotation avec des cultures autres que des céréales, l'enfouissement des résidus de céréales et l'enlèvement du blé spontané réduiront la survie de ces champignons. Malheureusement, la plupart des années, les quantités de spores sont suffisantes pour déclencher la maladie si les conditions environnementales lui sont favorables. Des programmes de fertilisation équilibrés sont importants puisque de fortes doses d'engrais et des semis hâtifs peuvent donner un feuillage dense avant l'hiver, ce qui expose davantage les plants à ces maladies. Dans le blé d'automne, la tache septorienne peut se développer sous la couche de neige. Utiliser de la semence de bonne qualité qui a été traitée avec un fongicide afin de prévenir les infections transmises par les semences. Les cultivars courants affichent une tolérance limitée. Les fongicides foliaires combattent efficacement la tache septorienne et la tache des glumes. Les seuils d'intervention varient selon le stade de croissance du blé. Les applications sont justifiées lorsqu'on trouve une ou deux lésions (couvrant 1 % de la surface de la feuille) sur la première feuille se trouvant sous la feuille de l'épi et ce, jusqu'au moment du gonflement, ou lorsqu'on trouve une ou deux lésions (couvrant 1 % de la surface de la feuille) sur la feuille de l'épi au moment de l'épiaison (floraison). Pour de l'information sur les fongicides, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Fusariose

Incidence : La fusariose est l'une des maladies les plus répandues des petites céréales en Ontario. Ces dernières années, d'importants foyers d'infection se sont déclarés là où le temps a été doux et pluvieux entre le stade de la floraison et le stade pâteux mou. En plus de comporter des risques de pertes de rendement considérables, la fusariose peut produire des mycotoxines dangereuses pour le bétail.

Aspect : Les symptômes de la fusariose sont décelables peu après la floraison. Des épillets atteints (glumes et fleurons) semblent avoir mûri (blanchi) prématurément par comparaison aux épis sains qui sont verts. Le champignon peut s'attaquer à la totalité ou à une partie de l'épi. Le blanchiment des épis ou la fusariose apparaît de 3 à 5 jours après l'infection. L'épi au complet peut être détruit lorsque le col (dernier entre-nœud de la tige qui supporte l'épi) est infecté (voir planche 120, p. 343). Par temps doux et humide, le champignon produit un anneau de spores allant du saumon au rose à la base de l'épillet ou dans le sillon du grain. Si les conditions se maintiennent, l'infection peut se propager aux grains adjacents. Les grains infectés sont habituellement ratatinés, plissés et légers. Ces grains ont un aspect rugueux et galeux et peuvent être brun clair, rose ou blanc grisâtre. L'importance des grains atteints de fusariose dépend du moment où l'infection se produit et des conditions météorologiques au moment de l'infection.

Si l'on sème des semences infectées, on expose la culture à la phase de brûlure des plantules de cette maladie. Celle-ci est distincte de la fusariose. Les grains infectés risquent de ne pas germer et peuvent donner des peuplements qui laissent à désirer. Quant aux plants infectés qui lèvent, ils manquent parfois de vigueur et finissent souvent par mourir avant d'avoir eu la chance de s'établir. Les plantules infectées peuvent apparaître de brun clair à brun rougeâtre et être couvertes de moisissure blanche ou rose. Au fur et à mesure que les plants parviennent à maturité, ils sont de plus petite taille et ont moins de talles; leurs épis sont aussi plus petits. Si l'on coupe la racine ou le collet, on peut apercevoir la pourriture des racines qui va du brun clair au brun rougeâtre.

Cycle de la maladie : Même si plusieurs espèces de *Fusarium* peuvent provoquer la fusariose, la principale est *Fusarium graminearum*, qui peut infecter le maïs, le blé, l'avoine et le seigle. Toutes les espèces hivernent dans des grains infectés, des paillettes, du chaume ou des résidus de paille ou de tiges laissés à la surface du sol. Les champignons survivent entre les cultures sous forme de spores asexuées (conidies), de filaments mycéliens et d'organes de fructification noirs violacés (périthèces), qui produisent les spores sexuées (ascospores). Les champignons prolifèrent et produisent des spores depuis le moment des récoltes jusqu'à ce que les résidus se soient décomposés dans le sol.

Le vent et les éclaboussures d'eau assurent la propagation des deux types de spores depuis les résidus infectés de la culture précédente jusqu'aux épis de blé. Les conidies sont produites sur les résidus de maïs et de petites céréales durant les épisodes de temps doux et humide, tandis que les acospores sont libérées durant les cycles pluvieux et secs. Ce faisant, le champignon est à même de disséminer des spores dans l'air pendant une période prolongée. Les spores qui atterrissent sur les épis ont besoin de pluie ou d'une forte rosée pour

germer et envahir les parties florales (anthères), les glumes et les autres parties de l'épi. Les risques d'infection augmentent considérablement lorsque ces spores retombent durant des périodes prolongées de temps doux où les températures oscillent entre 22 et 27 °C (70–80 °F) et que le temps est pluvieux et humide. Plus la période de temps pluvieux se prolonge pendant la floraison, plus les risques d'infection sont grands et par conséquent plus la maladie risque d'être grave. Si le temps doux et humide persiste, les masses de spores rose saumon produites sur les épillets seront disséminées par l'air et constitueront une autre source d'infection.

Stratégies de lutte : Éviter de semer du blé après du blé ou du maïs. Lorsqu'on laisse des résidus de l'une ou l'autre de ces cultures à la surface du sol et qu'on sème ensuite du blé, les risques d'une infection par la fusariose se trouvent considérablement accrus. Un labour propre des résidus infectés réduit les risques d'infection propagée par les spores provenant du champ. Toutefois, la fusariose peut quand même être propagée par les spores poussées par le vent depuis des champs avoisinants lorsque les conditions météorologiques favorisent l'éclosion de la maladie. Comme bon nombre des grains infectés sont petits, ratatinés et plus légers que les grains sains, il est possible, en faisant fonctionner le ventilateur à une vitesse de rotation supérieure aux fourchettes normales, de faire en sorte qu'une grande partie de ces grains soient rejetés à l'arrière de la moissonneuse-batteuse. Il se peut que l'on perde ainsi une certaine quantité de bon grain (jusqu'à 0,13 t/ha ou 3 bo/ac). De bonnes pratiques d'entreposage et de séchage limiteront encore davantage la propagation de la fusariose après la récolte. On trouve actuellement peu de cultivars résistants sur le marché, mais de nouveaux cultivars sont en cours d'élaboration.

Une recherche menée au Collège de Ridgetown, Université de Guelph, sur la lutte contre la fusariose a débouché sur l'élaboration d'un modèle de prévision de la mycotoxine (vomitoxine). Le modèle a été élaboré à partir des données recueillies sur de nombreuses années (1996–2000) et dans 399 champs du sud de l'Ontario. Il continue d'être modifié et est assez innovateur puisque qu'il met en relation l'accumulation de vomitoxine dans le grain de blé et les conditions environnementales qui règnent autour du stade de l'épiaison, et cherche à expliquer le lien qu'il peut y avoir avec la production de l'inoculum, l'infection des épis de blé et la prolifération fongique qui suit dans l'épi. Voir les cartes de prévision élaborées pour l'Ontario sur le site Web suivant : www.ridgetownc.on.ca/OWN/Fusarium/Fusarium_Frame.htm.

Tache helminthosporienne

Incidence : Les pratiques de travail réduit du sol contribuent à une augmentation de l'incidence de la tache helminthosporienne. Les pertes économiques associées à cette maladie ne sont toutefois pas considérables. Cependant, cette maladie est souvent confondue avec la tache septorienne. Or, des erreurs de diagnostic peuvent entraîner des applications inutiles de fongicides foliaires. L'orge et l'avoine sont beaucoup plus tolérantes à la tache helminthosporienne que le blé.

Aspect : La tache helminthosporienne se manifeste d'abord sur les feuilles du bas sous forme de petites mouchetures chamois-brun qui grossissent pour former des taches ovales ou circulaires de couleur chamois (5–15 mm) entourant un petit point central brun foncé. Un halo jaune clair entoure les lésions couleur chamois. L'idéal pour observer les lésions est de tenir la feuille à contre-jour.

Cycle de la maladie : Le champignon survit sur les résidus de blé. Des périodes prolongées de temps frais, couvert et humide en début de saison sont propices à la propagation de la maladie. Les spores sont disséminées par le vent.

Stratégies de lutte : La plupart des cultivars de blé sont sensibles à la tache helminthosporienne. Il faut donc inclure dans la rotation des cultures qui ne servent pas d'hôtes à ce pathogène, notamment d'autres céréales, du maïs, du soya et de la luzerne.

Maladies de l'orge

Tache helminthosporienne, brûlure des semis, pourriture des racines et brûlure de l'épi

Incidence : La tache helminthosporienne (voir planche 121, p. 343), la brûlure des semis, la pourriture des racines et la brûlure de l'épi, qui sont souvent graves et très répandues, sont toutes

causées par le même champignon. Celui-ci passe l'hiver dans le sol, les semences et les résidus de culture. Toutes les semences d'orge devraient être traitées avec un fongicide (voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*). Pour réduire la gravité de la tache helminthosporienne et de la brûlure de l'épi, éviter de cultiver de l'orge après une sole d'orge, de blé ou de graminée. La précocité des semis aide à réduire la gravité des maladies qui sévissent en juillet. La maladie est moins grave si l'orge est cultivée avec de l'avoine.

Rayure réticulée et tache pâle

La rayure réticulée (voir planche 122, p. 343) et la tache pâle (voir planche 123, p. 344) se produisent surtout par temps frais et humide. Les cultivars à deux rangs sont en général plus sensibles à ces maladies que ceux à six rangs. Pour empêcher la prolifération des agents pathogènes, il faut éviter de faire des cultures successives d'orge, s'assurer d'enterrer le plus possible les chaumes et la paille, et traiter les semences avec un fongicide (voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*).

Maladies de l'avoine

Tache septorienne

La tache septorienne peut causer de graves dégâts à tous les cultivars recommandés d'avoine. On reconnaît la maladie aux taches allongées, marbrées, brun clair et brun foncé, qui apparaissent sur le limbe des feuilles et se propagent le long des gaines et des tiges. À un stade avancé, celles-ci deviennent noires et se cassent facilement comme dans le cas de la verse. Il faut éviter de cultiver de l'avoine après une sole d'avoine ou de céréales mélangées. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les fongicides à employer.

Rouille des feuilles de l'avoine

La rouille des feuilles de l'avoine est souvent importante, surtout dans le centre et l'est de l'Ontario. Le nerprun commun est la source du champignon pathogène. Pour connaître les recommandations relatives aux fongicides, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Nématode à kyste de l'avoine

Les dégâts causés par ce nématode se manifestent dans les deux ou trois semaines qui suivent la levée. Les plantes très infectées semblent arrêter subitement leur croissance, leurs feuilles pâlissent et commencent à mourir depuis la pointe. Comme il n'y a pas de tallage, le peuplement est clairsemé et présente des plants rabougris qui portent peu de grains. Dans la terre, les racines sont gravement atteintes, et souvent décolorées. Elles sont jaune pâle sur les jeunes plantes et deviennent brun jaunâtre en vieillissant, alors que les plantes saines, elles, sont d'un blanc franc.

Pour s'assurer que les dégâts sont bel et bien causés par ce nématode, il suffit d'envoyer à l'adresse suivante un échantillon de plantes atteintes avec la terre qui entoure les racines : Clinique de diagnostic phytosanitaire, Division des services de laboratoire, 95, ch. Stone Ouest, Guelph (Ontario) N1H 8J7. Ce service est offert contre honoraires.

Il ne faut pas semer de céréales de printemps dans les champs où le nématode à kyste de l'avoine a causé des dégâts l'année précédente, mais plutôt semer une légumineuse ou une plante sarclée. On ne peut semer du maïs que si la population de nématodes est faible; sinon, il en souffrira. Puisque les nématodes s'attaquent aux racines du maïs sans s'y reproduire, leurs populations seront décimées par la culture répétée du maïs.

Autres problèmes des cultures céréalières

Destruction par l'hiver

Il arrive que les céréales d'automne soient détruites durant l'hiver et le début du printemps par le déchaussement par le gel, la glace, les températures basses et la moisissure des neiges. Les différents cultivars n'ont pas tous la même résistance à ces facteurs de stress causés par l'hiver, d'où l'adaptation à certaines régions de cultivars qui ne donnent pas nécessairement de bons résultats partout dans la province.

Au moment de choisir leurs cultivars, les producteurs devraient s'attarder aux risques de destruction par l'hiver auxquels les végétaux sont exposés dans leur région. Par exemple, dans la vallée de l'Outaouais, les cultivars doivent être tolérants à la glace, ceux qui sont cultivés dans la ceinture de neige du lac Huron doivent afficher une tolérance à la moisissure des neiges, tandis que ceux qui poussent dans les argiles lourdes des comtés d'Essex et de Lambton ainsi que dans la péninsule du Niagara doivent être tolérants au déchaussement par le gel.

Déchaussement par le gel

Les cycles gel-dégel au début du printemps sont l'une des principales raisons de la destruction des végétaux par l'hiver en Ontario. Quand le gel pénètre dans le sol, il travaille le sol sous le collet et soulève littéralement la plante (voir planche 124, p. 344). Si ces cycles gel-dégel se répètent un nombre suffisant de fois, le plant est éjecté hors du sol. Les racines se brisent et sont laissées exposées hors du sol. Le plant meurt par dessèchement. C'est ce qu'on entend par « déchaussement par le gel ».

Le blé semé profondément n'est pas plus résistant au déchaussement par le gel. Les racines séminales n'ancrent pas bien le plant dans le sol. Les racines coronales ancrent le plant de blé dans le sol, ce qui le protège des dégâts causés par le déchaussement. Les racines coronales du plant ne peuvent se développer dans le sol à une profondeur supérieure à celle de la graine (voir figure 6–1, *Nombre de jours avant la levée en fonction de la profondeur de semis*, p. 213). Lorsque le blé est semé profondément, les racines coronales se forment à environ 2 cm (¾ po) de profondeur, étant donné que le collet se forme en réaction à la lumière. Indépendamment de la profondeur de semis, les racines coronales ne s'enfoncent pas à plus de 2 cm (¾ po) dans le sol. Afin de maximiser la résistance au déchaussement par le gel, il faut faire en sorte que les plants développent un bon réseau de racines coronales le plus profondément possible.

Glace

Lorsque, l'hiver, la neige fond rapidement ou que de la pluie est suivie de températures sous le point de congélation, il peut se former une couche épaisse de glace sur les zones où l'eau s'est accumulée. Même lorsque l'eau parvient à se drainer bien au-dessous de la couche de glace, la glace elle-même empêche l'oxygène d'atteindre les plants, de telle sorte que le blé suffoque ni plus ni moins et meurt sous la glace.

Le drainage en surface et le drainage souterrain peuvent contribuer à prévenir les accumulations d'eau qui engendrent ce problème. Si une couche de glace se forme (par exemple, en janvier ou en février), le blé dormant ne survivra qu'environ 2 semaines. Il faut briser la surface gelée pour permettre à l'échange gazeux de se faire et pour maintenir le blé en vie.

Blessures par le froid

Le blé peut résister à des températures extrêmement froides. Les plants qui ont été endurcis (sont entrés en dormance) survivront à des températures aussi basses que –24 °C (–11 °F). La neige agit comme un isolant. En effet une couche de neige aussi mince que 7,5 cm (3 po) suffit à protéger la culture des températures extrêmement froides. Les tissus foliaires des plants qui n'ont pas été endurcis supporteront des températures de –9 °C (16 °F), ce qui fait que les derniers épisodes de gel du printemps portent peu à conséquences. Les cent dernières années, il n'y a eu qu'une seule année où le froid a détruit le blé en Ontario.

Même si le blé survit à des températures froides, il reste qu'il souffre quand même parfois de blessures par le froid, qui se traduiront par une perte de vigueur et une réduction des rendements.

Dommages par les herbicides

Les herbicides risquent toujours de causer des dommages à une culture. Les blessures occasionnées par les herbicides sont souvent attribuables aux résidus d'herbicides laissés par les cultures précédentes. Lorsque des herbicides de postlevée sont utilisés dans des cultures céréalières, les dommages surviennent pour la plupart au moment du traitement ou peu après. La dérive d'un herbicide sur une culture voisine non visée par le traitement est une autre source possible de dommages lorsque la culture non visée est sensible au produit pulvérisé. Le chevauchement des surfaces pulvérisées est une autre cause fréquente de dommages aux cultures.

L'étendue et la gravité des dégâts sont influencées par le stade de croissance de la culture, son exposition à un stress, les conditions météorologiques, le cultivar, ainsi que les produits et adjuvants qui sont ajoutés au mélange. Lorsque la culture cible est soumise à un stress, elle est moins à même de métaboliser l'herbicide et risque d'être endommagée. Le type d'herbicide (son mode d'action) est un facteur important dans la manière dont les cultures y réagissent. En général, même si les dommages causés par les herbicides de contact peuvent sembler pires, les herbicides systémiques ont des effets plus prolongés et plus nocifs, et peuvent de ce fait être souvent plus dommageables à la culture. Les applications tardives d'herbicides qui coïncident presque avec le moment de l'épiaison peuvent nuire à la pollinisation et réduire les rendements. Le même problème est à craindre de l'application de solutions de fongicides ou d'insecticides renfermant des résidus d'herbicides des pulvérisations précédentes. Toujours lire sur l'étiquette les précautions à prendre pour que la culture souffre le moins possible d'un traitement.

Types particuliers de dommages par les herbicides

Pour connaître les appellations commerciales des herbicides, consulter la fiche technique du MAAARO, *Classes de modes d'action des herbicides*, commande n° 00-062, ou la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Atrazine

Des résidus d'atrazine peuvent s'être accumulés dans les tournières par suite des applications de l'année précédente (voir planche 125, p. 344). Les symptômes incluent le jaunissement des pointes des feuilles et du pourtour des feuilles du bas, tandis que les nouvelles feuilles restent vertes.

Glyphosate

Les symptômes d'une surdose de glyphosate sur le pourtour des champs de blé d'automne (voir planche 126, p. 344) comprennent le jaunissement des tissus près du point végétatif et des nouvelles feuilles ainsi qu'un certain rougissement des tissus en bordure des feuilles. Des segments allant du jaune au brun peuvent apparaître sur les épis après une exposition à des doses très faibles.

Bromoxynil

Aux symptômes de brûlure de la pointe des feuilles d'orge occasionnée par le bromoxynil (voir planche 127, p. 344) peuvent s'ajouter des feuilles flétries, marbrées, mouchetées et brûlées. Les feuilles qui poussent par la suite ne sont pas atteintes. Ces symptômes se répercutent par ailleurs rarement sur les rendements.

7. Haricots secs comestibles

Les haricots secs appartiennent à une catégorie de légumineuses cultivées presque exclusivement pour l'alimentation humaine. Il existe un certain nombre de catégories de haricots secs, dont le petit haricot rond blanc, le haricot rognon, le haricot canneberge, le gros haricot blanc, le haricot noir, le haricot pinto, le haricot rose, le petit haricot rouge et le haricot à oeil jaune. Le haricot adzuki et le haricot mungo ne sont que des parents éloignés. Pour donner un bon rendement et un produit de bonne qualité, le haricot sec exige des pratiques culturales particulières.

L'Ontario est l'une des principales régions productrices de haricots blancs en Amérique du Nord; toutefois, la superficie qui y est consacrée, à la fois en Ontario et au Michigan, est en décroissance depuis une dizaine d'années. Plus de 80 % de la production ontarienne de haricots blancs est exportée.

Les haricots colorés plus gros sont cultivés là où les conditions météorologiques permettent d'obtenir le calibre et la qualité exigés sur le marché. La superficie consacrée à la culture des haricots colorés s'est accrue en Ontario et au Michigan.

Méthodes de travail du sol

Des recherches et des essais de démonstration à la ferme révèlent que les haricots comestibles peuvent donner de bons résultats à la fois dans un système traditionnel de travail du sol et dans un système de semis direct. Il reste que les craintes entretenues au sujet de la production et les contrats conclus avec les acheteurs obligent souvent à recourir aux méthodes traditionnelles de travail du sol.

Au moment des semis, une forme ou une autre de travail du sol dans la zone de germination est bénéfique aux haricots blancs. Ce phénomène est essentiellement attribuable au fait que cette culture possède de petites racines peu développées. Dans un système de semis direct, les coutres du semoir assurent le travail du sol nécessaire dans la zone de germination. Le semis direct donne des plants de haricots légèrement plus courts, qui se prêtent ainsi mieux à la culture sur rangs plus serrés. Si les haricots comestibles doivent faire l'objet d'une récolte en coupe directe, le passage de rouleaux à la suite des semis permet de niveler le sol et d'y enfoncer les cailloux. Le passage des rouleaux est également essentiel dans la culture des haricots en semis direct lorsque des tiges de maïs jonchent le sol, afin d'empêcher la moissonneuse-batteuse d'attraper les tiges de maïs et de salir les haricots.

Tableau 7–1.
Rotation des cultures et rendements des haricots blancs[1]

Rotation	Rendement moyen kg/ha	Rendement moyen lb/ac	Gain de rendement (%) par rapport à la monoculture
maïs-luzerne-luzerne-haricots	1 404	1 254	126
maïs-haricots-maïs-haricots	1 254	1 120	102
blé-haricots-blé-haricots	1 196	1 068	92
haricots-haricots-haricots-haricots	622	555	—

[1] Étude menée sur 9 ans dans un sol ayant servi pendant 25 ans à la culture de gazon.

Les soles de haricots comestibles sont vulnérables à l'érosion du sol. Le feuillage et les résidus de culture protègent le sol pendant une période relativement brève. Dans le cas des haricots cultivés sur des rangs écartés, il arrive que le feuillage ne couvre pas entièrement le sol au mois d'août. Les haricots secs comestibles souffrent davantage que le soya de l'encroûtement du sol avant la levée. Le travail superficiel du sol doit se limiter à remuer le sol tout juste ce qu'il faut pour préparer le lit de semence.

Considérations relatives à la rotation des cultures

Dans les cultures de haricots comestibles, une bonne rotation des cultures est le facteur le plus important pour l'obtention de rendements élevés. Les résultats d'une étude sur le haricot blanc, effectuée au Centre de recherches Huron, Collège de Ridgetown, Université de Guelph, révèlent qu'une bonne rotation produit des rendements 225 % plus élevés que ceux qui ont été obtenus avec la pire rotation qui soit (voir le tableau 7–1, *Rotation des cultures et rendements des haricots blancs*, ci-dessus). Les

améliorations de rendement ont été attribuées à une moins grande incidence de la maladie et à une meilleure structure de sol comparativement à la monoculture de haricots. Une rotation dans laquelle les haricots sont cultivés seulement une année sur trois est essentielle pour éviter l'accumulation des maladies. Le pourridié fusarien et la moisissure blanche sont les maladies les plus courantes qui sont favorisées par des rotations de courte durée ou la monoculture de haricots. Le soya, le canola et le tournesol ne sont pas les meilleures cultures à inclure dans la rotation, puisqu'elles sont sensibles à la moisissure blanche causée par *Sclerotinia* et peuvent augmenter les risques d'apparition de la moisissure blanche dans les cultures de haricots subséquentes. Les rendements les plus élevés sont souvent obtenus lorsque la culture des haricots suit celle du gazon.

Les haricots comestibles sont très sensibles à certains herbicides. Pour réduire les dommages causés par l'effet rémanent des herbicides appliqués sur les cultures précédentes, bien choisir les herbicides utilisés l'année qui précède la culture de haricots. Choisir les champs où la pression exercée par les mauvaises herbes est faible, étant donné que les haricots ne livrent pas vraiment concurrence aux mauvaises herbes. Peu d'herbicides sont homologués pour lutter contre les mauvaises herbes dans les haricots. Les mauvaises herbes présentes à la récolte risquent également de nuire à la qualité des haricots en les tachant.

Les haricots sont très sensibles au bore. Aussi ne faut-il pas les cultiver à la suite d'une culture de rutabagas ayant reçu une application de bore.

Pour plus d'information sur les rotations des cultures à privilégier dans les cultures de haricots comestibles et sur les précautions à prendre selon la méthode de travail du sol utilisé, voir la section *Rotation des cultures*, p. 20.

Choix du cultivar

Choisir le cultivar en fonction du rendement, de la maturité, de la résistance à la verse ainsi que de la résistance ou de la tolérance aux maladies. Si les haricots blancs sont cultivés en rangs serrés, choisir des cultivars au port érigé, étant donné que la récolte en coupe directe est la seule méthode possible.

Maturité – UTC

Le choix de cultivars venant à maturité au bon moment est de toute première importance (voir figure 3–1, *Unités thermiques disponibles pour la culture du maïs*, p. 66, pour connaître le nombre d'unités thermiques disponibles dans chaque région). Le choix de cultivars de pleine saison permet de tirer parti au maximum de la saison de croissance et offre l'occasion d'obtenir un rendement maximal. Choisir des cultivars qui viennent à maturité au cours de la première moitié de septembre, lorsque le temps est habituellement plus favorable à la récolte. Le fait d'effectuer la récolte par temps sec contribue à obtenir des haricots de haute qualité.

Si on compte cultiver des haricots blancs en semis direct, choisir un cultivar à port érigé, étant donné que la récolte en coupe directe est la seule possibilité qui s'offre. Pour obtenir une liste des cultivars et du nombre d'unités thermiques nécessaires à chacun, consulter la fiche technique du MAAARO, *Essais de rendement des haricots de grande culture*, au http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/index.html, ainsi que l'information diffusée par les fournisseurs. La maturité des haricots est donnée pour deux grands types de zones : les zones de pleine saison ou de mi-saison, d'une part, et les zones de saison courte, d'autre part. Les différences entre ces grandes zones ont plus d'influence sur le « nombre de jours avant la maturité » que la date de semis.

Biotechnologie

Comme les marchés actuels des haricots secs comestibles réclament uniquement des cultivars traditionnels, aucun cultivar de haricots transgéniques (OGM) n'est cultivé en Ontario.

Semis et croissance de la culture

Qualité de la semence

N'utiliser que de la semence sélectionnée, exempte de blessures mécaniques et de dommages causés par des intempéries. La brûlure bactérienne est une maladie transmise par les semences, qui peut être grave, certaines années. Pour cette raison, n'utiliser que de la semence certifiée provenant de champs inspectés. Toute la semence doit faire l'objet d'un test visant à évaluer son pouvoir germinatif. Voir l'annexe H, *Laboratoires d'analyse des semences accrédités par l'Agence canadienne d'inspection des aliments*, p. 310. De la semence de mauvaise qualité peut se traduire par une levée inégale, des plants rabougris ou des plants exfoliés, c.-à-d. sans feuille véritable.

Date des semis

On trouve au tableau 7–2, *Dates de semis recommandées*, p. 253, les directives concernant les dates de semis en fonction de la région géographique.

Tableau 7–2.
Dates de semis recommandées

Zone géographique	Date de semis recommandée
Moins de 2 700 UTC	26 mai – 6 juin
2 700 – 2 900 UTC	30 mai – 10 juin
Plus de 2 900 UTC	7 juin – 20 juin

On obtient les rendements les plus élevés en effectuant les semis à ces dates. La date de semis des haricots colorés dépend du cultivar et du nombre d'unités thermiques qui lui sont nécessaires. S'enquérir des recommandations relatives aux semis auprès des distributeurs de semences.

La température du sol idéale pour la germination se situe au delà de 15,5 °C (60 °F). Les haricots comestibles sont moins vigoureux que le soya. Par conséquent, ils sont plus sujets à présenter des problèmes à la levée si le sol est encroûté, si la semence est enfouie profondément et/ou si le sol est frais et détrempé. Le fait de semer à l'intérieur de la fourchette de dates recommandées évite à la culture de trop souffrir du temps chaud et sec pendant la floraison et permet de faire la récolte à temps. S'ils sont semés tardivement, les haricots comestibles s'adaptent moins facilement que le soya à une saison de croissance plus courte. Si les semis sont retardés, bien étudier la date à laquelle les haricots comestibles parviendront à maturité avant de poursuivre les semis.

> Quand un semis tardif est inévitable, envisager plutôt de semer du soya.

Taux et profondeur de semis

Le calibre des semences de haricots comestibles varie considérablement. Bien s'assurer que le semoir est réglé convenablement, de manière à déposer le bon nombre de graines par mètre de rang. Le tableau 7–3, *Taux de semis recommandés pour les haricots blancs en fonction de l'écartement des rangs*, ci-contre, indique les taux de semis à respecter pour les haricots blancs en fonction de l'écartement des rangs. Les taux de semis doivent être rajustés en fonction de la qualité de la semence et de leur pouvoir germinatif, des conditions particulières au champ et des antécédents de culture.

Pour les gros haricots colorés, le taux de semis recommandé est de 11,5–16,4 graines/m (3,5–5 graines/pi) pour des rangs écartés de 53–76 cm (21–30 po). Pour plus de détails sur les taux de semis, s'adresser à un fournisseur de semences. Là où l'on craint un pourcentage de levée réduit, on doit

Tableau 7–3.
Taux de semis recommandés pour les haricots blancs en fonction de l'écartement des rangs

		Écartement des rangs en cm (po)		
		36 (14,5)	53 (21)	76 (30)
		N^bre de graines/m de rang[1] (graines/pi)		
N^bre de graines/kg	N^bre de graines/lb	10–13 (3–4)[2]	11,5–15 (3,5–4,5)[3]	15–16 (4,5–5,0)[4]
		Taux de semis (kg/ha)		
4 500–5 000	2 000–2 300	72–83	54–62	42–48
5 000–5 500	2 300–2 500	66–72	50–54	38–42
5 500–6 000	2 500–2 700	61–66	46–50	36–38
6 000–6 500	2 700–3 000	55–61	42–46	32–36

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Régler le taux de semis en fonction du pourcentage de germination et du pourcentage de levée prévu.
[2] Taux de semis de 369 000 graines viables/ha (150 000 graines/ac).
[3] Taux de semis de 272 000 graines viables/ha (110 000 graines/ac).
[4] Taux de semis de 222 000 graines viables/ha (90 000 graines/ac).

augmenter le taux de semis de 10 %. Parmi les conditions à haut risque, mentionnons des semis effectués dans des sols lourds, des semis tardifs ou très hâtifs, des semis profonds ou des pertes de plantules appréhendées en raison de la présence du ver fil-de-fer ou de la mouche des légumineuses.

La profondeur de semis des haricots secs comestibles est cruciale pour une levée uniforme. Les peuplements clairsemés sont souvent le résultat de semis effectués dans un sol trop sec. La semence doit être enfouie sous au moins 1,2 cm (½ po) de sol humide. Une levée non uniforme donne une maturité inégale. Une profondeur de semis de 4–6 cm (1½–2½ po) est normale, mais il peut être nécessaire d'enfouir la semence plus profondément, jusqu'à 9 cm (3½ po) pour mettre la semence en contact avec de l'humidité. Les haricots semés plus profondément risquent de souffrir davantage de l'encroûtement du sol. Les anciens modèles de semoirs à grains ne permettent pas toujours de régler avec précision la profondeur de semis. Lorsque tel est le cas, il vaut sans doute mieux utiliser un semoir de précision. Le fait de rouler ou de compacter le sol avant les semis contribue à raffermir le lit de semence et à retenir l'humidité, et peut aussi permettre de mieux maîtriser la profondeur de semis lorsqu'on utilise un semoir à grains. Le compactage du sol après les semis aide à aplanir les buttes, à enfoncer

les cailloux dans le sol et à retenir l'humidité, mais cette pratique risque également d'entraîner des problèmes d'encroûtement.

Écartement des rangs

Des rangs écartés de 70–75 cm (28–30 po) constituent la norme à la fois pour les haricots blancs et les haricots colorés lorsque la culture doit être arrachée et andainée. Des rangs écartés de seulement 36–56 cm (14–22 po) sont préférables si la culture de haricots blancs doit être récoltée en coupe directe. Les essais portant sur l'écartement des rangs des haricots blancs en semis direct ont donné des rendements de 14 % plus élevés pour les rangs serrés (c.-à-d. écartés de moins de 56 cm ou 22 po) que pour les rangs plus écartés. Dans les rangs étroits, choisir des cultivars de haricots blancs qui ont un port érigé et une bonne tolérance à la moisissure blanche. Le pourcentage de levée peut être supérieur dans les rangs larges semés à l'aide d'un semoir à maïs que dans un semis en pleine surface effectué à l'aide d'un semoir à grains, et ce, pour les raisons suivantes :

- la profondeur de semis est plus uniforme et plus précise;
- la semence est mieux recouverte;
- il y a plus de graines par mètre (pied) linéaire de rang à enfouir à travers la croûte en surface, c.-à-d. 16 graines/m (5 graines/pi) de rang dans des rangs écartés de 76 cm (30 po) comparativement à 10–13 graines/m (3–4 graines/pi) dans des rangs écartés de 36 cm (14 po);
- les semences ne se trouvent pas enfouies dans les traces laissées par le tracteur.

Dans les rangs étroits, la levée peut être problématique pour les haricots semés dans les traces laissées par le tracteur. Certains producteurs apportent des modifications à la machinerie de manière à herser ou à travailler le sol entre les roues du tracteur et le semoir. Lorsqu'on planifie de faire la récolte en coupe directe dans un champ qui a déjà été infecté par la moisissure blanche, il faut choisir un cultivar qui affiche une bonne résistance à cette maladie. Le fait de semer sur des rangs plus écartés et de réduire la densité de peuplement peut contribuer à réduire l'incidence de la moisissure blanche. L'avènement des arracheuses a permis aux plants de haricots semés dans des rangs écartés de 50–56 cm (20–22 po) d'être arrachés et mis en andains.

Inoculation

Les essais portant sur l'inoculation des haricots comestibles n'ont démontré aucun avantage à l'inoculation.

Houe rotative

Il arrive qu'une croûte se forme à la surface du sol et empêche les haricots de lever. La houe rotative peut briser la croûte de sol et faciliter la levée des plantules. L'utilisation de la houe rotative réduit normalement la densité de peuplement de 5–10 %, mais le plus grand nombre de plants qui lèvent par suite de l'opération compense largement cette réduction. Par contre, le passage de la houe rotative au stade de la crosse entraîne des pertes considérables.

La houe rotative peut aussi être utile à la lutte contre les mauvaises herbes. Voir la rubrique *Lutte contre les mauvaises herbes*, p. 258, pour plus d'information sur la lutte mécanique.

Décisions relatives à la reprise des semis

Un certain nombre de facteurs peuvent être responsables de la réduction de la densité de peuplement, notamment l'encroûtement du sol, les blessures causées par les herbicides, la gelée, la grêle, les insectes et les maladies. La décision de reprendre les semis peut être l'une des plus difficiles à prendre pour un producteur. Il doit bien analyser les facteurs responsables, la date de reprise des semis, le peuplement de plants sains restants ainsi que les besoins de lutte contre les mauvaises herbes. Les taux de semis normaux comprennent une marge de sécurité qui vise à assurer la levée d'un peuplement convenable. Les haricots canneberge donnent généralement de meilleurs résultats que les haricots blancs ou d'autres haricots colorés lorsque les semis se font tardivement.

Croissance

La croissance des haricots secs comestibles ressemble à celle du soya (voir *Semis et croissance de la culture*, p. 119). Il y a deux grands types de plants de haricots comestibles : les plants définis (buissonnants) et indéfinis (à rames). Certains cultivars hâtifs sont définis, c.-à-d. que la croissance en hauteur s'arrête une fois que la floraison commence. Les types de haricots à rames continuent de développer de nouvelles pousses même lorsque la floraison commence, ce qui permet aux plants de ce type de supporter davantage de stress que les plants de type défini. Les haricots comestibles sont moins tolérants au stress que le soya, ce qui fait ressortir l'importance d'une levée rapide et uniforme pour un peuplement sain et compétitif. Les températures optimales pour la croissance du haricot sec sont 18–24 °C (65–75 °F). Les haricots dont la levée n'est pas uniforme ne parviendront pas à maturité en même temps. Le fait qu'une culture de haricots soit saine peut compenser pour un peuplement clairsemé.

Tableau 7–4.
Doses recommandées de phosphate et de potasse pour les haricots secs comestibles, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium (ppm)	Cote	Phosphate (P_2O_5) nécessaire (kg/ha)	Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium (ppm)	Cote	Potasse (K$_2$O) nécessaire (kg/ha)
0–3	BASSE	80	0–15	BASSE	120
4–5		60	16–30		100
6–7		50	31–45		90
8–9		40	46–60		80
10–12	MOYENNE	30	61–80	MOYENNE	60
13–15		20	81–100		40
16–25	HAUTE	0	101–120	HAUTE	20
26–60	TRÈS HAUTE	0	121–150	TRÈS HAUTE	0
61 +	EXCESSIVE[1]	0	151–250	EXCESSIVE[1]	0
			251 +		0

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Un apport supplémentaire d'éléments nutritifs (sous forme d'engrais commercial et/ou de fumier) n'offre pas d'avantage cultural et risque même d'abaisser le rendement de la culture et/ou de nuire à sa qualité. Par exemple, une application supplémentaire de phosphore sur un sol qui, selon l'analyse de sol, renferme déjà 60 ppm de phosphore pourrait provoquer une carence en zinc là où les concentrations de zinc sont faibles et pourrait même augmenter les risques de lessivage des éléments nutritifs vers la nappe phréatique, tandis qu'un apport supplémentaire de potasse sur un champ pour lequel l'analyse de sol révèle déjà une teneur en potassium supérieure à 250 ppm pourrait occasionner une carence en magnésium là où la concentration en cet élément nutritif est faible.

Fertilité

Azote

En général, les haricots secs comestibles ne nécessitent pas d'apport azote. Toutefois, s'il y a épandage en bandes d'engrais phosphatés, une petite quantité d'azote (10 kg de N/ha) permet d'améliorer la biodisponibilité du phosphate. Là où les rendements des haricots de grande culture ont été faibles dans le passé en raison du bronzage ou des différentes formes de pourriture des racines, il est conseillé d'épandre 100 kg d'azote de plus par hectare avant le semis. L'azote ne constitue pas un remède pour ces maladies, mais peut hausser le rendement. Des recherches ont démontré qu'un apport d'azote entraîne une légère augmentation du calibre des graines. Les apports d'azote peuvent toutefois retarder la maturité, surtout à la suite d'une culture de gazon à forte teneur en légumineuses ou là où du fumier a été épandu.

Phosphate et potasse

Les recommandations relatives aux apports de phosphate et de potasse sont présentées au tableau 7–4, *Doses recommandées de phosphate et de potasse pour les haricots secs comestibles, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO*, ci-dessus. Les agriculteurs qui ne disposent pas des résultats d'une analyse de sol reconnue par le MAAARO et qui veulent savoir comment interpréter ce tableau peuvent se référer à la rubrique *Recommandations d'engrais*, p. 36.

Méthodes d'application

Pour ne pas brûler la semence, les engrais ne doivent pas entrer en contact avec elle. Ils doivent être épandus à la volée, retournés dans le sol ou incorporés au sol avant le semis, ou disposés en bandes au moyen d'un dispositif attaché au semoir de manière à positionner l'engrais 5 cm au-dessous et 5 cm à côté de la semence. Pour plus d'information, se référer au tableau 2–30, *Doses maximales sous des éléments fertilisants*, p. 54.

Analyse des tissus végétaux

Pour les haricots secs comestibles, on suggère de prélever la dernière feuille au haut complètement

Tableau 7–5.
Interprétation des résultats de l'analyse des tissus de haricots secs

Élément nutritif	Unité	Concentration critique[1]	Concentration maximale normale[2]
Azote (N)	%	4,00	5,5
Phosphore (P)	%	0,15	0,5
Potassium (K)	%	1,20	2,5
Calcium (Ca)	%	–	5,0
Magnésium (Mg)	%	0,10	1,0
Bore (B)	ppm	10,0	55,0
Cuivre (Cu)	ppm	4,0	30,0
Manganèse (Mn)	ppm	14,0	100,0
Zinc (Zn)	ppm	14,0	50,0

[1] Toute concentration d'un élément nutritif égale ou inférieure au niveau critique peut entraîner une chute du rendement causée par la carence nutritionnelle que cette concentration signifie.

[2] Les concentrations maximales normales sont plus que suffisantes, mais ne causent pas forcément de toxicités.

développée (3 folioles plus la tige) à la première floraison. Voir le tableau 7–5, *Interprétation des résultats de l'analyse des tissus de haricots secs*, ci-dessus. Les plants soupçonnés d'avoir une carence en éléments nutritifs devront être échantillonnés aussitôt que le problème se manifeste. Si l'échantillonnage a lieu à tout autre moment que le moment recommandé, il est important de prélever des échantillons provenant à la fois de zones saines et de zones problématiques afin de pouvoir établir des comparaisons pertinentes. Il faut aussi prélever un échantillon de sol au même endroit et au même moment que l'échantillon de tissus. Pour plus d'information à ce sujet, voir la rubrique *Échantillonnage du sol*, p. 35.

Oligo-éléments

Manganèse

Il arrive en Ontario que des carences en manganèse soient signalées dans des cultures de haricots. Ce problème risque davantage de se manifester dans les sols très sableux et dans les terres noires. Chez les plants qui souffrent d'une carence en manganèse, les feuilles supérieures vont du vert pâle au blanc tandis que leurs nervures restent vertes. Il faut corriger la carence aussitôt qu'elle est décelée, en pulvérisant sur le feuillage 2 kg de manganèse élémentaire/ha (1,8 lb/ac) provenant de sulfate de manganèse (soit 8 kg de sulfate de manganèse/ha (7,1 lb/ac)) dans 200 L (53 gal) d'eau. On recommande l'utilisation d'un mouillant-adhésif.

Sous de bonnes conditions de croissance, les feuilles atteintes devraient verdir en 4–5 jours. Les produits à base de manganèse chélaté sont tout aussi efficaces si l'on applique la même quantité de manganèse, mais ils coûtent à peu près 10 fois le prix du sulfate de manganèse. Quant aux faibles doses de manganèse chélaté, elles ne sont pas efficaces et peuvent même aggraver les carences en manganèse.

En général, les haricots réagissent bien à un apport de manganèse dans les parties du champ qui affichent une carence en cet élément nutritif. Il n'y a aucun avantage à appliquer du manganèse sur des plants de haricots qui ne présentent pas de symptômes de carence.

Zinc

Les haricots souffrent rarement d'une carence en zinc; celles-ci se produisent surtout aux endroits où la couche arable a disparu. On peut corriger une carence en zinc par une pulvérisation foliaire de sulfate de zinc 0,5 % dans 190 L d'eau additionnée d'un agent mouillant/ha. On obtient une solution titrant 0,5 % en mélangeant 1 kg (2,21 lb) de sulfate de zinc dans 200 L (53 gal) d'eau. Le zinc chélaté est également efficace en pulvérisation. Une application au sol est par contre sans effet.

Bore

Les haricots sont très sensibles au bore et, par conséquent, ne devraient pas être cultivés après une sole de rutabagas fertilisés au bore.

Récolte et entreposage

Le but ultime de la culture est de produire des haricots propres, brillants et entiers. Les haricots comestibles peuvent s'avérer une culture fragile à récolter. Certains types de haricots sont beaucoup plus sensibles que d'autres à une détérioration de la qualité causée par les conditions météorologiques automnales. À maturité, les haricots rognons, bruns hollandais et noirs ont tendance à mieux supporter les intempéries que les petits haricots ronds blancs, les haricots canneberge et les haricots rognons blancs. Les haricots colorés de plus gros calibre ont tendance à absorber plus d'humidité après la pluie et mettent donc plus de temps à sécher. Il est par conséquent important de connaître les normes de qualité pour la catégorie de marché à laquelle les haricots sont destinés.

La fourchette d'humidité recommandée pour la récolte est de 16–20 %. Si la récolte est effectuée en dehors de cette plage, la qualité sera considérablement réduite. De faibles teneurs en humidité augmentent quant à elles la proportion de graines fendues et de téguments fissurés. Des haricots mouillés ou non parvenus à maturité deviendront tachés par les feuilles, les tiges et la saleté.

Il y a deux méthodes courantes de récolte des haricots secs comestibles : l'arrachage suivi de l'andainage, et la récolte par coupe directe.

Arrachage, andainage et battage

Les haricots semés en rangs écartés sont habituellement récoltés après arrachage, c.-à-d. que les plants sont coupés à 3–5 cm (1¼–2 po) sous la surface du sol, puis tirés de deux rangs ou plus en un même rang à l'aide d'une andaineuse. Les haricots sont arrachés lorsque 90 % des gousses sont parvenues à maturité et ont jauni. Pour empêcher les gousses de tomber et éviter les pertes par égrenage prématuré, il faut arracher les plants de haricots tôt le matin lorsqu'ils sont mouillés par la rosée et qu'ils sont fermes. Les haricots sont récoltés plus tard le même jour à l'aide d'une moissonneuse-batteuse conçue pour la récolte des haricots comestibles ou d'une moissonneuse-batteuse traditionnelle pourvue d'une pièce pour soulever les andains. Comme une exposition prolongée de la culture à maturité à une humidité excessive entraine une perte de qualité, il est important de récolter la culture le plus tôt possible après avoir arraché les plants. Les types de haricots à plus grosses graines exigent des moissonneuses-batteuses spécialisées afin de répondre aux normes de qualité établies par le marché. Sous de bonnes conditions, des pertes de graines de l'ordre de 3–5 % sont normales à la récolte (c.-à-d. 1 % à l'arrachage et à l'andainage, 1 % au ramassage par la moissonneuse-batteuse et 1–2 % au nettoyage et au battage).

Moissonnage-battage

Les types de haricots qui se prêtent le mieux à la récolte en coupe directe comprennent les haricots blancs au port dressé et les haricots adzuki, noirs et pinto. Les types de haricots à plus grosses graines nécessitent l'utilisation de moissonneuses-batteuses spécialisées si l'on veut que les normes de qualité exigées par le marché soient respectées.

Des améliorations apportées aux moissonneuses-batteuses contribuent à réduire les pertes de récolte et à minimiser la quantité de haricots salis, fendus et endommagés. Les caractéristiques de la culture au moment du nettoyage et du battage changeront au cours de la journée à mesure que la teneur en eau se modifiera. Voici un aperçu des réglages à apporter à la moissonneuse-batteuse :

- Maintenir les couteaux bien affûtés pour minimiser les pertes par égrenage.
- Faire tourner les cylindres à la vitesse minimale nécessaire pour battre la récolte. Faire circuler un maximum de plants dans le cylindre pour minimiser les dommages faits aux graines. Sur bien des moissonneuses-batteuses, la vitesse du cylindre ne peut être abaissée sous les 250 tours/minute, ce qui peut être trop rapide pour les haricots qui sont faciles à battre. Il se vend des trousses de ralentissement du/des cylindre(s), qui comprennent une poulie d'entrainement de plus faible diamètre et une courroie.
- Veiller à ce que la vis sans fin de déchargement tourne à basse vitesse et soit pleine pour ne pas endommager la semence. La courte vis sans fin verticale sur la moissonneuse-batteuse (vis sans fin tourelle) qui apporte les graines du fond du réservoir jusqu'à la vis sans fin de déchargement est un point qui endommage énormément les graines. Certains producteurs de haricots remplacent les vis sans fin de déchargement par des transporteurs à courroie.
- Régler la vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse environ aux deux tiers de la vitesse d'avancement adoptée pour la récolte du soya.
- Munir la moissonneuse-batteuse de dispositifs permettant de soulever les gousses basses avant que le plant ne soit coupé. Ce dispositif peut être particulièrement avantageux lorsqu'il s'agit de récolter des cultivars qui ont tendance à s'écraser.
- Régler la barre de coupe flottante flexible de manière à couper les plants de haricots le plus au ras du sol possible. On minimise ainsi les risques de couper les gousses qui sont basses, ce qui constitue une source de pertes de semence. Veiller à ce que le couteau coupe vite et bien afin d'éviter le secouage des plants, le fendillement des gousses et l'égrenage des haricots. Le gros des pertes est attribuable au fendillement. Des études menées en Ontario démontrent qu'une barre de coupe flottante flexible peut réduire les pertes de 25 % comparativement à une tête flottante traditionnelle. De plus, une barre de coupe « à mouvement rapide » a réduit les pertes jusqu'à 40 % comparativement à une barre de coupe ordinaire. Le tableau 7–6, *Perte moyenne de haricots blancs en 1990 et 1991*, p. 258, compare les pertes de récolte associées à quatre méthodes de récolte qui ont été enregistrées en 1990 et 1991 sur plusieurs fermes du Michigan.
- Utiliser un rabatteur avec soufflerie pour améliorer considérablement le chargement de la moissonneuse-batteuse et réduire les pertes au

Tableau 7–6.
Perte moyenne de haricots blancs en 1990 et 1991

Méthode de récolte[1]	Perte avant nettoyage (%)		Perte au nettoyage (%)		Perte totale (%)	
	Moyenne	Fourchette	Moyenne	Fourchette	Moyenne	Fourchette
Arrachage et andainage – arracheuse	1,6	1,1–5,0	2,1	0,8–3,6	3,7	2,9–5,3
Arrachage et andainage – couteau	2,3	1,1–10,9	2,4	1,4–5,7	4,7	2,6–12,3
Coupe directe – rabatteur à doigts ou avec soufflerie	6,9	2,9–10,4	1,2	0,6–1,9	8,1	3,5–11,4
Coupe directe avec rabatteur à doigts	11,7	3,3–20	2,0	1,0–2,0	13,7	5,4–21,9

Source : Harvesting Michigan Navy Beans, Michigan State University.

[1]Ne comprend que les essais où le matériel a été utilisé conformément à son mode d'emploi.

niveau du couteau. Le courant d'air garde les mauvaises herbes et les plants de haricots éloignés du couteau, ce qui contribue à dégager la barre de coupe et à empêcher les cailloux de pénétrer dans la tête. Le rabatteur avec soufflerie offre un maximum d'avantages sous des conditions de récolte difficiles, lorsque la culture a versé ou que le volume de la récolte est réduit. Sous de bonnes conditions, les pertes de récolte peuvent être aussi faibles que 3 %, que l'on utilise un rabatteur avec soufflerie ou non. Tard dans la journée, avec l'assèchement des gousses, les pertes au niveau de la tête peuvent dépasser les 20 % si l'on utilise un rabatteur ordinaire pour ramasser la récolte, tandis que les pertes ne seront que de 10 % si l'on utilise un rabatteur avec soufflerie.

- Modifier le parcours de la moissonneuse-batteuse pour améliorer le rendement et la qualité. Le fait de circuler dans le sens contraire du sens de la verse permet de récolter les branches qui retombent et les gousses qui sont basses, ce qui peut réduire jusqu'à 300 % les pertes sous forme de chaume. Si le peuplement n'est pas parvenu à maturité de manière uniforme ou qu'il est envahi de mauvaises herbes, repousser la récolte dans les zones atteintes jusqu'à ce que la maturité soit suffisante ou que la culture puisse être traitée à l'aide d'un dessicant.

Conservation de la qualité à la récolte

Il peut arriver que la culture soit prête à être récoltée, mais que le champ soit encore vert ou envahi de mauvaises herbes en totalité ou en partie. Or, la récolte en présence de tiges vertes ou de mauvaises herbes vertes peut contribuer à tacher les haricots. Il existe des produits d'aide à la récolte qui permettent de brûler chimiquement les mauvaises herbes et de dessécher la culture. Consulter la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour plus d'information. Des mauvaises herbes comme la morelle noire de l'Est et le raisin d'Amérique peuvent tacher gravement les haricots. Lorsque la récolte doit se faire en coupe directe, il est important d'appliquer un dessicant pour dessécher les tissus verts qui restent.

Il peut se produire une croissance secondaire au fur et à mesure que les plants parviennent à maturité, surtout lorsque la pluie suit une période prolongée de sécheresse. Les haricots blancs sont plus susceptibles à la croissance secondaire que les haricots colorés.

Il faut prendre bien soin de maintenir la qualité de la graine. Avant la récolte, il faut débarrasser la moissonneuse-batteuse de toutes les graines résiduelles provenant des récoltes antérieures. Si l'entreposage à la ferme est nécessaire, entreposer les cultivars individuels de haricots dans des cellules distinctes qui sont exemptes d'autres céréales ou de graines oléagineuses. Les haricots récoltés doivent être gardés exempts de cailloux, de morceaux de verre ou d'autres contaminants de la grosseur des graines. La présence d'impuretés entraîne une baisse de valeur de la récolte.

Lutte contre les mauvaises herbes

La période critique pour lutter contre les mauvaises herbes dans les haricots blancs va du stade de la deuxième feuille trifoliée à celui de la première fleur.

Période critique de lutte contre les mauvaises herbes

La protection des rendements n'oblige pas à combattre les mauvaises herbes sans relâche. Des recherches révèlent que le maintien d'un bon programme de lutte contre les mauvaise herbes durant la période critique suffit à limiter les pertes de rendement à moins de 5 %. Les mauvaises herbes qui germent par la suite ont peu d'incidence sur les rendements et produisent relativement peu de graines.

L'étiquette du produit pour les herbicides de postlevée indique le stade de croissance des mauvaises herbes où les mesures de lutte donnent un maximum de résultats. Le choix du moment de l'intervention visant à lutter contre les mauvaises herbes doit tenir compte à la fois de la période critique pour la culture et du stade de croissance optimal des mauvaises herbes.

Pertes de récolte dues aux mauvaises herbes

Des recherches menées au sujet d'autres cultures révèlent que certaines mauvaises herbes sont plus concurrentielles que d'autres. Même si les niveaux de pertes attribuables à des mauvaises herbes en particulier ont été bien documentés pour les cultures de maïs et de soya, l'on ne dispose actuellement d'aucune donnée sur l'importance de telles pertes dans les haricots comestibles. L'inspection de la culture est essentielle pour déterminer les espèces et les populations de mauvaises herbes présentes dans le champ. Il faut bien étudier les effets des mauvaises herbes sur la qualité du produit et la facilité de récolte au moment de décider des interventions nécessaires pour lutter contre les mauvaises herbes.

Lutte mécanique contre les mauvaises herbes

L'élaboration d'un programme de lutte contre les mauvaises herbes doit comprendre le sarclage, la rotation des cultures, diverses autres pratiques culturales ainsi que des traitements herbicides. L'enploi d'une seule méthode ou l'application continuelle du même produit chimique peut entraîner une augmentation des mauvaises herbes résistantes ou tolérantes à cette méthode ou à ce produit. La rotation avec d'autres cultures et/ou d'autres méthodes de désherbage réduiront les risques d'une nouvelle infestation ou du développement d'une souche particulière résistante.

Un travail du sol peu profond (2,5–3 cm ou 1–1¼ po) réalisé par le passage à bonne vitesse (10–20 cm/h ou 6–12 mi/h) d'une houe rotative au moment où les haricots sont au stade 1–2 feuilles contribue à maîtriser les petites plantules de mauvaises herbes. Lorsque le sol est sec, le passage de la houe rotative 7–10 jours suivant les semis aide à matriser les mauvaises herbes en train de lever. Cette intervention peut aussi activer les herbicides radiculaires en mélangeant le produit chimique avec du sol humide. Le passage de la houe rotative au milieu de la journée lorsque les plants de haricots sont plus flasques entraînera une baisse dans la densité de peuplement. Il est peu probable que la houe rotative enlève bien des mauvaises herbes ayant dépassé le stade 2 vraies feuilles.

Le sarclage entre les rangs peut être nécessaire si les mauvaises herbes échappent au traitement chimique. On considère que les mauvaises herbes ont échappé au traitement quand elles ont de 5 à 7 cm de hauteur (2–2 ¾ po). Le sarclage doit être superficiel pour éviter de remonter en surface du sol non traité où germeront de nouvelles mauvaises herbes.

L'application de l'herbicide en bande sur le rang réduit le coût de la moitié ou du tiers, selon l'espace entre les rangs et la largeur de la bande. Pour détruire les mauvaises herbes entre les bandes, il est nécessaire de sarcler superficiellement.

Lutte intégrée contre les mauvaises herbes

La maîtrise des mauvaises herbes dans la culture de haricots est influencée par :

- la rotation des cultures;
- l'écartement des rangs;
- les caractéristiques variétales;
- les pratiques de travail du sol.

En général, les pratiques agronomiques qui favorisent une culture saine et à croissance rapide sont celles qui permettent à la culture de livrer la concurrence la plus vive aux mauvaises herbes.

La rotation des cultures peut être efficace pour réduire certaines mauvaises herbes vivaces qui croissent mieux dans une culture en particulier. Les rangs étroits et les populations plus denses ont tendance à augmenter la densité du couvert végétal et à ralentir la croissance des mauvaises herbes, mais il faut bien soupeser les avantages de la lutte contre les mauvaises herbes et les autres exigences de la culture.

Les graines de mauvaises herbes peuvent être transportées d'un champ à l'autre par les instruments aratoires, la moissonneuse-batteuse, le matériel de travail du sol et les forces érosives. Les mauvaises herbes peuvent également être apportées par les épandages de fumier ou autres. L'assainissement et le nettoyage du matériel ainsi que l'entretien des pourtours du champ sont autant de facteurs qui influencent la maîtrise à long terme des mauvaises herbes dans le champ.

Consulter la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour plus d'information, notamment sur les produits herbicides et sur les doses.

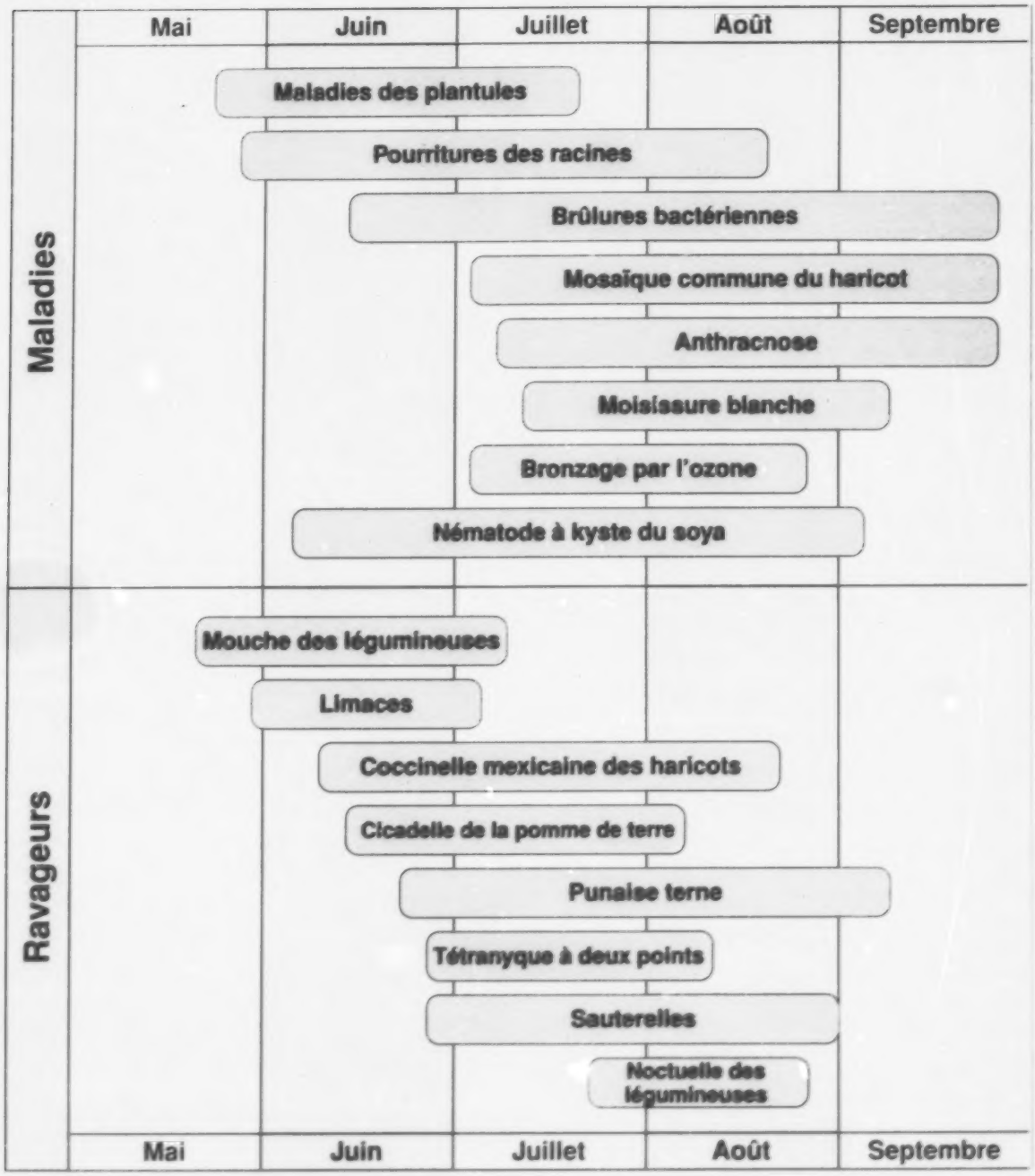


Figure 7-1.
Calendrier de dépistage des ennemis des haricots secs comestibles

Ravageurs

Le tableau 7–7, *Symptômes observés dans le champ*, ci-dessous, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les symptômes décrits.

Voici la description des insectes et autres ravageurs des haricots secs comestibles, et les moyens recommandés pour les combattre.

Tableau 7–7.
Symptômes observés dans le champ

Symptôme	Insecte ou autre ravageur responsable							
	Sauterelles	Noctuelle des légumineuses	Coccinelle mexicaine des haricots	Cicadelle de la pomme de terre	Mouche des légumineuses	Limaces	Punaise terne	Ver fil-de-fer
Trouée dans le peuplement : Galerie creusée dans le cotylédon, l'embryon ou l'hypocotyle					x	x[1]		x
Trous dans les feuilles								
Trous aux contours déchiquetés (fait penser aux dommages causés par la grêle)						x		
Trous ronds dans les feuilles	x	x	x					
Feuilles déformées ou décolorées								
Pourtour des feuilles jaune ou roussi. Feuilles cloquées.				x				
Mort des fleurs ou chute des jeunes gousses							x	
Insectes se nourrissant des gousses ou des graines								
Taches dures et foncées sur les gousses et les graines							x	

[1] Traces visibles laissées par les limaces.

Mouche des légumineuses

Description : Le stade nuisible de la mouche des légumineuses est une petite larve apode et sans tête, de couleur blanc jaunâtre (voir planche 53, p. 331). Le corps est fuselé vers l'avant. Les pièces buccales de la larve prennent la forme de deux crochets rétractiles. Les larves creusent dans les graines en germination et dans les parties enterrées des plantules en train de lever, ce qui produit des plantules faibles.

Cycle biologique : Après l'accouplement, soit entre le début d'avril et le milieu de juin, la femelle de la mouche des légumineuses (stade adulte) se met à la recherche d'un site de ponte. Elle est attirée par des sols humides qui dégagent une odeur de matière organique en décomposition comme les résidus de culture, les zones où du fumier a été épandu ou celles où le sol a été fraîchement travaillé. Les femelles sont également attirées par les mauvaises herbes. Les adultes pondent leurs oeufs dans le sol. Les larves se développent ensuite dans le sol et dans les résidus organiques, en se nourrissant des graines en germination.

Dommages : Les larves de la mouche des légumineuses se nourrissent des graines gonflées n'ayant pas encore germé. On les trouve dans le cotylédon, l'embryon et l'hypocotyle. Elles provoquent une levée lente et/ou l'éclaircissement du peuplement. Les plantules qui survivent et germent finissent souvent par mourir ou affichent un retard de croissance.

RAVAGEURS

Technique de dépistage : Contrairement aux dommages causés par le ver fil-de-fer, les dommages causés par la mouche des légumineuses sont normalement perceptibles dans une bonne partie du champ. Rien ne peut être fait pour réchapper un champ endommagé, sauf de reprendre les semis, au besoin. Les facteurs à haut risque à surveiller comprennent : sol fraîchement travaillé, résidus de culture abondants, fumier fraîchement épandu, culture d'engrais vert fraîchement enfouie, semis profond conjugué à du temps frais et un retard dans la levée.

Seuil d'intervention : Donnée non disponible.

Stratégie de lutte : Envisager de faire subir un traitement insecticide à la semence lorsque celle-ci est destinée à des champs qui seront semés tôt si de grandes quantités de fumier ou de résidus ont récemment été incorporés au sol ou si les champs ont été labourés peu de temps auparavant. Utiliser de la semence de bonne qualité qui lèvera rapidement. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les produits recommandés parmi ceux qui sont homologués. Il n'existe pas de traitement permettant de réchapper une culture.

Cicadelle de la pomme de terre

Description : Au stade adulte, la cicadelle de la pomme de terre est un insecte ailé et vert pâle dont le corps cunéiforme mesure environ 3 mm de long et qui possède des pièces buccales de type perceur-suceur (voir planche 56, p. 331). Les adultes sont plus larges au niveau de la tête. Leur corps s'affine graduellement en allant vers le bout des ailes. Le derrière de la tête est ponctué de six taches blanches de forme ronde. Les nymphes n'ont pas d'ailes et sont plus petites que les adultes.

Cycle biologique : La cicadelle de la pomme de terre n'hiverne pas en Ontario. Chaque printemps, les cicadelles migrent généralement vers le nord, portées par les fronts climatiques venant du sud, depuis le Golfe du Mexique. Les adultes arrivent généralement à la fin du printemps. Ils se nourrissent d'abord de la luzerne et d'autres légumineuses vivaces. Les cicadelles n'apparaissent généralement sur les plants de haricots qu'à la fin de juin une fois que la luzerne a été fauchée. Parfois, de grandes populations d'adultes arrivent du sud du jour au lendemain et endommagent les jeunes cultures de haricot. Les femelles pondent leurs œufs dans les nervures principales et les pétioles des feuilles. La croissance d'oeuf à adulte prend environ 2–3 semaines.

Dommages : La cicadelle s'alimente en perçant les tissus des végétaux et en en suçant la sève. Ce faisant, elle endommage les cellules vasculaires, ce qui obstrue les vaisseaux et fait en sorte que des éléments nutritifs et des produits s'accumulent dans la feuille. À leur tour, les feuilles s'enroulent et développent des cloques. Tôt ou tard, le pourtour des feuilles devient roussi. Ces symptômes sont appelés « brûlure de la cicadelle ». Les rangs périmétriques sont les premiers touchés. Comme les pertes de rendements surviennent avant même que la brûlure de la cicadelle ne soit observable, il ne faut pas se fier à la présence de la brûlure de la cicadelle pour intervenir. Les cicadelles ont tendance à s'attaquer aux champs de soya et de haricots comestibles une fois que les champs de luzerne ont été fauchés. Les symptômes de la cicadelle de la pomme de terre sont souvent confondus avec des problèmes occasionnés par les herbicides, des carences nutritives et un stress causé par la sécheresse. Les principaux facteurs de risque sont les saisons chaudes plus sèches que la normale.

Technique de dépistage : Parcourir le champ le long de deux diagonales qui se croisent au centre du champ. Ramasser dix feuilles trifoliées, déployées en totalité ou en partie au centre du couvert végétal à dix emplacements dans le champ.

Seuils d'intervention :

Stade de croissance des haricots	N^bre de cicadelles par feuille trifoliée (adultes et nymphes)
Feuille unifoliée	0,25
Deuxième feuille trifoliée	0,5
Quatrième feuille trifoliée	1,0
Première floraison	2,0

Stratégies de lutte : L'utilisation d'insecticides systémiques au moment des semis peut contribuer à maîtriser ce ravageur. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les insecticides recommandés. Un champignon pathogène qui existe à l'état naturel contribue à abaisser les populations de cicadelles lorsque les conditions sont fraîches et pluvieuses. Les prédateurs et parasites semblent pour leur part jouer un rôle mineur dans la diminution des populations de cet insecte.

Insectes défoliateurs

Des recherches menées au Collège de Ridgetown de l'Université de Guelph (voir figure 7–2, *Pertes de rendement en fonction de la défoliation des petits haricots ronds blancs*, ci-contre) indiquent qu'avant la floraison, les haricots sont à même de tolérer jusqu'à 50 % de pertes de feuilles et connaître des pertes finales minimes. La défoliation complète avant la floraison a retardé la maturité de 30 jours. Une légère défoliation n'a pas retardé la maturité. À des stades plus avancés, l'influence de la défoliation est plus grande. Les pertes totales varient selon les conditions de croissance et la capacité du plant à se remettre. La perte de plus du tiers des feuilles durant la floraison ou le remplissage des gousses peut réduire considérablement le rendement.

En règle générale, on peut se fier aux seuils d'intervention indiqués au tableau 4–20, *Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs pour le soya*, p. 142.

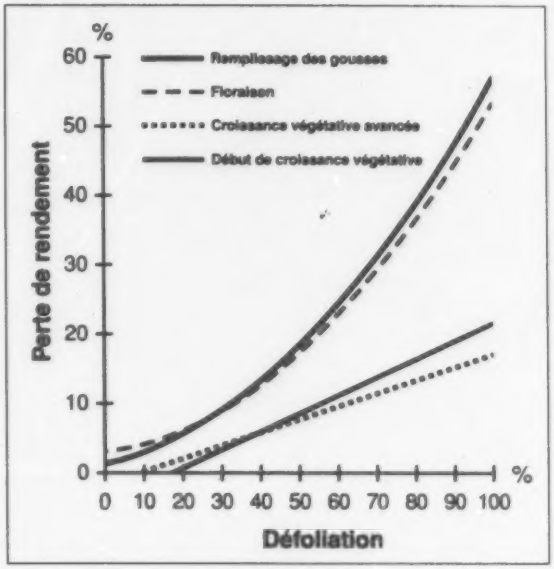


Figure 7–2.
Pertes de rendement en fonction de la défoliation des petits haricots ronds blancs
Source: Schaafsma et Ablett, 1994.

Noctuelle des légumineuses

Description : Les adultes sont des papillons nocturnes brun foncé ou noirs aux ailes tachetées dont l'envergure est d'environ 2,5 cm (1 po). Les larves sont vert pâle, mesurent environ 2,5 cm (1 po) de long et ont deux lignes blanches dorsales longitudinales (voir planche 128, p. 344). Les larves tressaillent lorsqu'on les dérange. La noctuelle des légumineuses s'attaque à la luzerne, au haricot, au trèfle, au dolique ou haricot à oeil noir, au soya, au fraisier, à la vesce à feuilles étroites et à un grand nombre de mauvaises herbes communes et de légumineuses.

Cycle biologique : La noctuelle des légumineuses hiverne au stade de pupe dans les feuilles mortes et les débris de culture. Au printemps, quand les températures se réchauffent, les adultes deviennent actifs et pondent des oeufs sur le revers des feuilles. Les oeufs éclosent et les larves se nourrissent du feuillage pendant environ un mois avant de s'enfoncer dans le sol ou dans les débris de culture pour amorcer la pupaison. On compte deux générations par année.

Dommages : Les larves se nourrissent du feuillage et des gousses de haricots, laissant derrière elles des trous qui font diminuer le rendement si les populations sont importantes.

Technique de dépistage : Observer 10 plants en 5 points du champ. Secouer les plants au-dessus d'un morceau de papier et compter le nombre de larves par segment de 30 cm (12 po) de rang.

Seuil d'intervention : Une intervention est justifiée si l'on trouve plus de 5 larves sur 30 cm (12 po) de rang.

Stratégies de lutte : Plusieurs ennemis naturels contribuent à maintenir les populations sous les seuils de nuisibilité économique. Les insecticides ne sont recommandés que si les populations sont extrêmement fortes, puisqu'ils détruisent également les populations d'ennemis naturels. Pour plus d'information sur les recommandations relatives aux insecticides, voir la publication 812F du MAARO, *Guide de protection des grandes cultures.*

Coccinelle mexicaine des haricots

Description : Il s'agit de l'unique représentante de la famille des coccinelles en Ontario qui soit phytophage. Toutes les autres coccinelles sont des insectes prédateurs utiles. Au stade adulte, cette coccinelle est de forme ovale, mesure environ 6 mm (¼ po) de longueur et présente 16 points noirs sur le dos, lequel est de couleur rouge cuivré. Sur ce point, elle ressemble à la coccinelle de nos jardins (voir planche 129, p. 345). Par contre, la coccinelle mexicaine des haricots a la tête du même rouge cuivré que le dos, tandis que la tête des bêtes à bon Dieu est normalement noire et blanche. Les adultes foncent avec l'âge et passent à un brun orangé. Les larves sont jaunes et pourvues de six rangées de longues épines branchues aux pointes noires le long du dos.

Cycle biologique : Ce ravageur hiverne au stade adulte dans les bordures enherbées des champs et dans les boisés. Les adultes émergent en mai et commencent à se nourrir des jeunes plants de haricots. Ils pondent les oeufs sur la face inférieure des feuilles de haricot. Les larves éclosent et commencent à s'alimenter par grappes. En vieillissant, les larves se dispersent davantage. Les larves continuent à se nourrir du feuillage pendant environ 1 mois avant de s'attacher au plant et d'amorcer leur pupaison. Les adultes émergent environ 2 semaines plus tard. On ne compte que une ou deux générations par année.

Dommages : À la fois l'adulte et la larve se nourrissent des feuilles, des fleurs et des gousses, mais ce sont les feuilles qui subissent la part la plus importante des dégâts. Les premiers symptômes sont de gros trous, mais à mesure que le temps passe, la feuille entière est dévorée, à l'exception des nervures. Les dommages sont habituellement localisés.

Technique de dépistage : Examiner 10 plants en cinq points du champ. Surveiller les rangées périphériques.

Seuil d'intervention : On n'enregistre pas de pertes de rendement considérables tant que le taux de défoliation n'atteint pas 35 % avant la floraison et 15 % après la floraison. Si les plants sur le pourtour du champ semblent infestés par la coccinelle mexicaine des haricots, la pulvérisation de ces zones peut être nécessaire.

Stratégies de lutte : Le recours aux insecticides n'est recommandé que si les populations et les dommages sont extrêmement importants, puisque les insecticides tuent également les ennemis naturels. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures,* pour les recommandations relatives aux insecticides. Il est également judicieux de combattre les mauvaises herbes en bordure des champs et des rangées d'arbres ou d'arbustes, afin d'exposer les adultes dans leur site d'hivernation. Plusieurs ennemis naturels s'attaquent à ce ravageur et le maintiennent sous les seuils de nuisibilité économique.

Sauterelles

Dommages : À la fois les adultes et les nymphes se nourrissent des feuilles, des gousses et des graines. De fortes infestations peuvent conduire à une défoliation complète des champs et entraîner des pertes de rendement. Les dommages causés par l'alimentation des sauterelles sont habituellement observés en premier sur les pourtours des champs, à proximité des rangées d'arbres ou d'arbustes enherbées et des pâturages. Les champs de graminées avoisinants et les conditions de sécheresse comptent parmi les facteurs de risque.

Cycle biologique : Les sauterelles hivernent au stade d'oeuf dans le sol, habituellement dans des champs non cultivés et des pâturages. Les nymphes éclosent au début juin et commencent à se nourrir des plants en train de lever. Les stades nymphaux durent environ 2 mois, après quoi les adultes apparaissent plus tard dans la saison pour s'alimenter, s'accoupler et déposer dans le sol les oeufs qui produiront la population de l'année suivante. Les sauterelles préfèrent pondre des oeufs dans des sols sableux et dans des zones enherbées qui ne sont pas travaillées. Du temps sec pendant 1 ou 2 années favorise la survie des oeufs et des nymphes.

Technique de dépistage : Commencer le dépistage vers la fin juin lorsque les sauterelles sont encore jeunes. Inspecter les rangées d'arbres et d'arbustes adjacentes et les bordures enherbées.

Seuil d'intervention : On n'enregistre pas de pertes de rendement considérables tant que le taux de défoliation n'atteint pas 35 % avant la floraison et 15 % après la floraison. Si les plants sur le pourtour du champ semblent infestés par les sauterelles, la pulvérisation de ces zones peut être nécessaire.

Stratégies de lutte : En début de saison, on doit concentrer les efforts de lutte sur les pourtours du champ, là où les populations de nymphes sont élevées. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour les recommandations sur les insecticides. Plusieurs ennemis naturels, dont les carabes et les grillons se nourrissent des oeufs de sauterelles, tandis que les oiseaux et les araignées mangent les nymphes et les adultes, ce qui contribue à réduire les populations. Le champignon *Entomophthora grylli* peut réduire les populations lorsque les conditions météorologiques sont douces et humides. Un sarclage destiné à débarrasser le champ et ses pourtours des graminées adventices aide à réduire le nombre de nymphes, car celles-ci ont besoin de ces plantes pour survivre. Le travail du sol enfouit les oeufs plus profondément dans le sol, ce qui empêche les nymphes de sortir du sol. La lutte chimique est plus efficace lorsqu'elle est dirigée contre les nymphes que contre les adultes.

Maladies

Mesures préventives — Généralités

1. Laver à fond, avec un détergent, tout le matériel servant au nettoyage et au tri des semences, à leur transport ou à leur mise en terre afin d'enlever toute la terre qui peut y adhérer. Désinfecter ensuite le matériel avec un composé d'ammonium quaternaire (p. ex., Niagara HY-X) ou de l'hypochlorite de sodium (p. ex. de l'eau de javel 10 %). Rincer le désinfectant avec de l'eau propre, afin d'empêcher les surfaces traitées de rouiller.
2. Pratiquer une rotation de 3 à 4 ans incluant des cultures appartenant à des familles différentes.
3. Ne pas épandre de fumier contenant des résidus de haricots sur les champs destinés à cette culture.
4. Ne pas entrer dans un champ de haricots si le feuillage est mouillé, afin d'éviter de propager les maladies.

Brûlures bactériennes

Incidence : Plusieurs bactéries différentes peuvent causer des dommages graves aux haricots comestibles. En Ontario, la brûlure bactérienne commune et la tache aréolée sont les principales maladies bactériennes qui affectent cette culture. La plupart des cultivars de haricots sont sensibles à la brûlure bactérienne commune, mais la plupart sont résistants à la tache aréolée.

Aspect : Ces maladies sont difficiles à distinguer l'une de l'autre. Dans les deux cas, les premières manifestations sont de petites cloques d'eau sur les folioles. Dans le cas de la brûlure bactérienne commune, ces cloques sont foncées et apparaissent d'abord sur le revers des folioles. Elles grossissent et se fondent pour former entre les nervures des zones brunes et sèches étendues au pourtour jaune. Ce pourtour jaune est mince dans le cas de la brûlure bactérienne et plus large et plus apparent dans le cas de la tache aréolée (voir planche 130, p. 345). Sous des conditions chaudes, il arrive que ce halo jaune ne se forme pas.

Au fur et à mesure que ces maladies s'étendent, les feuilles infectées deviennent cassantes et tombent prématurément. Les plants infectés peuvent perdre leurs feuilles une semaine ou deux avant les plants sains. Dans les cas graves, les petites nervures et la nervure principale prennent une coloration rougeâtre. Chez les plants infectés par la tache aréolée, les feuilles s'enroulent et les jeunes feuilles jaunissent sans présenter de halo perceptible ni de taches de tissu mort.

Les symptômes sur les gousses se manifestent d'abord par des lésions rondes et gorgées d'eau qui renferment en leur centre une masse de bactéries de couleur crème. Avec le temps, ces lésions se creusent et s'assèchent. Elles présentent alors un pourtour brun rougeâtre et un coeur jaune. Plus l'infection des gousses survient tôt, plus les répercussions sont grandes sur la qualité des graines. Souvent, celles-ci sont ratatinées et, dans le cas de la brûlure bactérienne commune, peuvent être jaunes. Le fait de semer des graines infectées amène le ceinturage des tiges par la bactérie ou l'apparition de pourriture au-dessus du noeud cotylédonaire. Le plant est affaibli et peut verser.

Cycle de la maladie : Normalement, les bactéries responsables ne survivent pas à l'hiver en Ontario. Par conséquent, les infections se propagent d'une année à l'autre par les semences infectées. Une fois que les plants sont infectés, la maladie se propage à des plants sains à la faveur des intempéries et de la circulation des travailleurs et de la machinerie d'un champ à l'autre lorsque les plants sont mouillés. La pluie et la grêle peuvent aussi propager les bactéries dans le champ.

MALADIES

Stratégies de lutte : Habituellement, les bactéries ne survivent pas à l'hiver dans le champ, mais pour plus de sécurité, il vaut mieux laisser s'écouler 1 an entre les cultures sensibles. Ne pas employer de semences provenant de champs infectés. Prendre soin également de ne pas semer la culture aux côtés d'un champ ayant été gravement infecté par la brûlure l'année précédente. Enfouir les débris de haricots infectés dans le sol après la récolte. Les brûlures bactériennes se propagent facilement lorsque les plants sont mouillés par la pluie ou la rosée. Il faut éviter la circulation de la machinerie ou des travailleurs dans les champs mouillés. Nettoyer les sarcloirs avant de passer d'un champ à un autre. Récemment, des cultivars offrant une résistance génétique aux brûlures bactériennes ont été mis au point. Ces cultivars de haricots blancs sont sur le point d'être offerts aux producteurs ontariens, si ce n'est déjà fait.

Anthracnose

Incidence : L'anthracnose a déjà été la maladie des haricots comestibles la plus dévastatrice sur le plan économique en Ontario. Depuis peu, toutefois, l'utilisation de cultivars résistants et le traitement des semences ont permis d'en atténuer l'incidence. Dans les champs où la maladie apparaît suite à une infection par la souche delta du champignon, des dommages considérables sont à craindre.

Aspect : Les symptômes comprennent des lésions rondes, angulaires ou ovales sur les feuilles, les tiges et les gousses (voir planche 131, p. 345). Les lésions sont enfoncées ou semblables à des cratères et laissent paraître un anneau noir distinct sur le pourtour. Souvent, le centre des lésions est recouvert de plusieurs petites masses de spores noires. Les nervures sur la face inférieure des feuilles sont souvent brun-rouge ou rouge violacé. Les pertes de rendement sont attribuables aux feuilles qui vieillissent et aux plants qui meurent prématurément, aux graines rabougries et à une teneur plus élevée en graines impures (des graines présentant des lésions sur le tégument).

Cycle de la maladie : Le champignon survit d'année en année, principalement sous forme de spores ou de lésions sur les graines. L'utilisation de semis sains est essentielle pour combattre la maladie. Une fois que la maladie se manifeste dans un champ, sa propagation est favorisée par les déplacements de la machinerie agricole, des animaux et des humains, tant dans le champ même que d'un champ infecté à un champ sain. Le temps pluvieux est propice à la propagation de la maladie en raison du transport par le vent ou les eaux de ruissellement des éclaboussures d'eau chargées de spores qui proviennent des zones infectées. À la suite de périodes prolongées de temps pluvieux, les infections peuvent prendre des proportions épidémiques.

Il existe plusieurs lignées (races) d'anthracnose. Toutes les lignées de la maladie produisent les mêmes symptômes sur les plants. Tous les cultivars de haricots blancs recommandés actuellement sont résistants aux lignées bêta et gamma de l'anthracnose. Il est bon, chaque année, de consulter la fiche technique du MAAARO, *Essais de rendement des haricots de grande culture*, ou de visiter le site www.gov.on.ca/OMAFRA.english/crops pour connaître les cultivars résistants aux lignées alpha et delta.

Stratégies de lutte : Pour éviter l'anthracnose, utiliser des semences exemptes de la maladie et traiter les semences à l'aide d'un fongicide. Enfouir les résidus de haricots infectés dans le sol après la récolte et inscrire la culture de haricots dans une rotation incluant pendant au moins 2 ans des cultures autres que des cultures hôtes. Rester hors des champs de haricots lorsque la culture est mouillée.

Pour savoir si l'anthracnose est présente dans un lot de semence, communiquer avec :

Division des services de laboratoire
Direction générale de la production et de l'inspection des aliments
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Édifice des services de laboratoire
22, av. Carling
Ottawa (Ontario)
K1A 0C6
Téléphone : (613) 759-1224
Personne-ressource : Jim Sheppard

Mosaïque commune du haricot

Incidence : Le virus de la mosaïque commune du haricot est présent partout dans la province où se cultivent des haricots comestibles. Certaines années, la maladie peut frapper durement des champs en particulier.

Aspect : L'infection des haricots comestibles par le virus peut causer divers symptômes. Les feuilles des plants infectés présentent des taches gaufrées formant une mosaïque de vert foncé et de vert-jaune pâle. Le pourtour des feuilles s'enroule vers le bas. Les plants sont rabougris et si l'infection survient tôt, les plants peuvent fleurir mais risquent de ne pas produire de graines. Un autre symptôme, désigné « réaction des racines noires », se manifeste chez les cultivars qui possèdent un gène spécifique (le gène I résistant dominant). Ces cultivars sont résistants à toutes les souches du virus de la mosaïque commune du haricot, sauf lorsque les plants poussent sous des températures élevées, auquel cas, ils affichent la réaction des racines noires. Il en résulte un brunissement ou un noircissement des tissus vasculaires à l'intérieur des tiges et le flétrissement suivi de la mort des plants. Le symptôme le plus évident de la « réaction des racines noires » est la bigarrure qui apparaît sur l'extérieur de la tige (les tissus de transport de l'eau), ce qui produit une bigarrure noire ou brune de la tige à partir de la ligne de sol en montant. Ce noircissement peut n'être visible que d'un côté de la tige.

Cycle de la maladie : Le virus se communique d'un champ à l'autre essentiellement par la semence infectée. Les pucerons peuvent par la suite propager le virus à l'intérieur du champ. Des pertes importantes sont enregistrées lorsque des cultivars sensibles sont infectés tôt soit par la semence infectée soit par la proximité des plants infectés ou des champs hébergeant d'importantes populations de pucerons. Il existe plusieurs souches du virus, mais la souche prédominante en Ontario est la souche 1.

Stratégies de lutte : Ne pas utiliser les semences provenant de plants malades. Pour savoir quels cultivars sont résistants à cette maladie, consulter chaque année la fiche technique du MAAARO, *Essais de rendement des haricots de grande culture*, ou le site www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crops. Éviter d'endommager les plants lors du sarclage.

Complexe de la pourriture des racines

Incidence : De nombreux organismes provoquent l'apparition de symptômes de pourriture sur les racines des haricots comestibles. En Ontario, les quatre principaux champignons pathogènes sont *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* et *Charlara* (auparavant *Thielaviopsis*). Ces organismes peuvent se présenter seuls ou en combinaison, ce qui est souvent le cas. On parle alors de « complexe de pourriture des racines ». La gravité des dégâts varie selon l'état général de la culture, ses antécédents, la sensibilité du cultivar et les conditions environnementales.

Aspect : Les symptômes peuvent se manifester sur les plants à tout stade de leur croissance. Les infections de début de saison se manifestent normalement par la pourriture des semences avant la levée et la fonte des semis (mort des plantules) après la levée, réduisant ainsi la densité de peuplement. Ces symptômes s'apparentent à des problèmes à la levée (voir planche 132, p. 345). Les plants qui survivent à une infection en début de saison (« fonte des semis ») ou qui deviennent infectés plus tard affichent des symptômes caractéristiques de « pourriture des racines », notamment des racines décolorées, rabougrissement et flétrissement du plant, etc.

Le pourridié fusarien du haricot, causé par *Fusarium*, se manifeste d'abord par de petites lésions brun rougeâtre (dans les premières semaines) qui, à mesure que le plant vieillit, se fusionnent pour former des lésions plus grandes ou des stries à la surface de la racine pivotante. On peut observer la teinte brun rougeâtre des tissus de transport de l'eau en fendant la racine pivotante, le collet et la partie inférieure de la tige. Des racines adventives peuvent se développer sur les plants dont la racine pivotante est endommagée. Ces racines adventives se forment au-dessus de la zone endommagée. Les infections tardives font rarement mourir le plant, mais donnent des plants rabougris, qui semblent faibles.

Le pourridié pythien se reconnaît à la présence d'une lésion brune caractéristique qui est gorgée d'eau et qui commence à la base de la racine pivotante. Cette lésion progresse le long de la racine et de la tige, et s'étend jusqu'à 2 ou 3 cm au-dessus de la ligne de sol. Souvent, l'infection fait mourir les plants, ce qui entraîne des problèmes d'établissement du peuplement. Même si les plantules plus vieilles et les plants à maturité ne meurent pas nécessairement d'une infection par *Pythium*, leurs racines sont souvent coupées, ce qui donne des plants rabougris, mal ancrés, qui flétrissent et semblent malades.

Le rhizoctone commun du haricot, causé par *Rhizoctonia*, provoque la formation de lésions déprimées brun rougeâtre sur la tige et la racine pivotante, le plus souvent près de la surface du sol. La lésion peut ceinturer complètement la tige, provoquant du coup le rabougrissement ou la mort du plant. Cette lésion est d'un « rouge brique » caractéristique qu'on peut observer immédiatement

après avoir arraché le plant. Il s'agit là d'un moyen de distinguer la pourriture des racines causée par *Rhizoctonia* de celle qui est causée par *Fusarium*. L'intensité de la couleur « rouge brique » s'estompe rapidement au contact de l'air.

La pourriture noire des racines causée par *Charlara* donne des lésions de brunes à noires sur la racine pivotante et les racines latérales. Sous des conditions graves, la racine pivotante peut être noire.

Cycle de la maladie : Ces champignons survivent dans le sol dans les débris de végétaux ou sous forme de mycélium. Ils sont attirés par les sucres et les exsudats libérés par les racines en croissance. Ils posent surtout un problème lorsque les conditions environnementales sont fraîches et mouillées durant les semis ou lorsque des conditions amènent un retard dans la levée des plantules ou leur croissance. Un stress hydrique entre le milieu et la fin de la saison (conditions sèches) augmente l'incidence des infections des racines par *Fusarium* et *Rhizoctonia*.

Stratégies de lutte : Il est impossible d'éliminer ces maladies, mais les pertes de rendement qui en découlent peuvent être réduites par le respect des bonnes pratiques de gestion du sol qui suivent :

- Choisir des cultivas qui affichent une bonne tolérance générale aux pourritures des racines.
- Favoriser la croissance des racines par de bons programmes de fertilisation. Garder le sol le plus riche possible en matière organique.
- Garder le sol meuble en pratiquant une rotation des cultures convenable (3 ans entre deux soles de haricots, quels qu'ils soient), et en évitant de le travailler lorsqu'il est détrempé ou de le travailler trop finement.
- Retirer l'excès d'eau en améliorant le drainage souterrain et en minimisant la compaction du sol.
- Faire subir à la semence des traitements destinés à protéger le plant contre les pourritures des racines durant la germination et le début de la croissance. Consulter la publication 812F, du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les recommandations relatives au traitement des semences.

Moisissure blanche (*Sclerotinia*)

Incidence : La moisissure blanche est une maladie difficile à prédire, même si la plupart des années, elle frappe davantage dans les cultures de haricots comestibles que dans le soya. La maladie est plus dévastatrice lorsque le temps est relativement frais et pluvieux pendant la floraison ou peu de temps avant la récolte.

Aspect : L'infection gagne d'abord les tissus morts à la suite d'autres causes, tels que fleurs ou feuilles à la base du plant. L'infection directe des gousses, des tiges et des feuilles saines se fait par contact entre les tissus infectés et les tissus sains. Les zones atteintes sont blanchies et un feutre mycélien blanc se forme habituellement à la surface des plants (voir planche 133, p. 345). Des sclérotes noires et dures sont produites à la surface de la tige ou à l'intérieur de celle-ci (voir planche 134, p. 345).

Stratégies de lutte : Voici les pratiques préconisées pour minimiser les pertes attribuables à la moisissure blanche :

- Utiliser des cultivars moins vulnérables ou des cultivars au port dressé.
- Dans des champs où la moisissure blanche a déjà sévi, ne pas semer de haricots comestibles après des cultures sensibles à cette maladie ou laisser s'écouler au moins 3 ans entre des cultures sensibles. Le soya, la betterave sucrière, le canola, le tournesol et le chanvre sont d'autres grandes cultures sensibles à la moisissure blanche.
- S'assurer d'une bonne circulation d'air en respectant les taux de semis recommandés et en espaçant convenablement les rangs. Ces précautions concourent à abaisser le taux d'humidité et à rendre l'environnement moins propice à la prolifération de la moisissure blanche. Éviter la surfertilisation qui accélère la fermeture du couvert et par le fait même amène un accroissement de l'humidité qui crée un milieu propice à l'infection.
- Recourir au besoin aux fongicides foliaires. Pour une lutte efficace, les pulvériser sur le feuillage au moment de la première floraison, avant que la maladie ne se manifeste. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les fongicides recommandés. Les pulvérisations faites après l'apparition de la maladie ne permettent pas de combattre la moisissure blanche efficacement.

Nématode à kyste du soya

Même si le soya est son hôte privilégié, le nématode à kyste trouve aussi refuge dans un grand nombre de plantes, dont les haricots secs comestibles. Le nématode à kyste du soya est de plus en plus présent dans les régions productrices de haricots de la province. Le fait de semer des haricots comestibles dans des champs infestés par ce nématode peut augmenter l'incidence du « complexe de la pourriture des racines », étant donné que le nématode endommage les racines et ouvre ainsi la voie aux organismes responsables de ces pourritures. Pour plus d'information sur le nématode à kyste du soya, voir la section consacrée à ce ravageur à la page 169.

Autres problèmes liés aux cultures

Dommages par le gel et la grêle

À la fois le gel et la grêle peuvent être dévastateurs dans une culture de haricots. L'ampleur des dommages en début de saison dépend de l'endroit où les plants sont atteints. Si les plants sont endommagés sous les cotylédons, ils ne s'en remettront pas. Si le point végétatif est endommagé, mais que la base de la tige reste intacte, le plant émettra de nouvelles pousses à partir de la base des feuilles ou des cotylédons. Attendre quelques jours avant de reprendre les semis pour voir si ces pousses apparaissent.

Pour évaluer les dommages causés par la grêle, vérifier s'il y a des meurtrissures sur les tiges. Si les tiges sont endommagées, les plants auront plus de difficulté à s'en remettre et seront plus vulnérables aux maladies affectant les tiges. Lorsque les gousses sont endommagées par la grêle, les graines ou les gousses entières finissent souvent par pourrir.

Si le gel survient près du moment de la maturité, les gousses qui sont jaunes à brunes sont souvent suffisamment matures pour échapper aux dommages. Les haricots verts se ratatineront, conserveront leur couleur verdâtre et renfermeront davantage de graines impures. On peut prévenir la formation de taches et améliorer la séparation en repoussant la récolte jusqu'au moment où les haricots se sont suffisamment asséchés.

Bronzage

Le bronzage n'est pas causé par un organisme vivant ni par un pathogène, mais il est plutôt le résultat des dommages causés par l'ozone à la surface des feuilles. Des mouchetures brun rougeâtre ou un « bronzage » apparaît sur la face supérieure des feuilles (voir planche 135, p. 346). Les feuilles atteintes sont souvent les plus hautes sur le plant; le bronzage survient souvent peu après un épisode de pollution atmosphérique par l'ozone. Le nombre de feuilles atteintes varie selon la durée de l'exposition. Les symptômes peuvent être plus graves sur les plants exposés à des conditions humides. Sous des conditions sèches, les plants sont plus tolérants à l'ozone. L'importance des dommages sur le plant ou dans une zone correspond souvent aux alertes de pollution atmosphérique ou à des orages électriques violents. Ces conditions entraînent une augmentation des concentrations d'ozone auxquelles est soumise la culture. La lumière provoque la formation d'ozone. Plus la concentration d'ozone est grande et plus longue est l'exposition à l'ozone, plus les répercussions sont graves sur la culture. Utiliser des cultivars tolérants dans les zones où l'ozone a déjà causé des dommages.

Problèmes liés à la qualité des semences

Une mauvaise qualité de semence nuit à la germination et à la vigueur des plantules. Les semences endommagées mécaniquement peuvent donner des plantules exfoliées (des haricots qui lèvent mais qui sont dépourvus de point végétatif). Ne pas confondre cette blessure avec les symptômes d'une infestation par la mouche des légumineuses, laquelle donne une plantule à l'aspect déchiqueté. Des semences de mauvaise qualité peuvent aussi donner des plantules ayant des cotylédons ou l'hypocotyle brisés ou fissurés. Or, des plantules endommagées sont plus vulnérables aux maladies et aux dommages causés par les insectes. N'employer que de la semence certifiée de haute qualité. Traiter la semence à l'aide d'un fongicide au moment des semis, afin de protéger les plantules. Manipuler les semences délicatement afin de minimiser les bris mécaniques.

Blessures occasionnées par les herbicides

Les haricots comestibles sont très sensibles à certains herbicides. Pour réduire les blessures dues à l'effet rémanent des herbicides, choisir avec soin les herbicides appliqués sur les champs qui doivent servir à la culture de haricots l'année suivante. Consulter les étiquettes d'herbicide pour connaître la

sensibilité de la culture et obtenir l'information relative aux rotations.

Types particuliers de dommages par les herbicides

Pour connaître les appellations commerciales des herbicides, consulter la fiche technique du MAAARO, *Classes de modes d'action des herbicide*, commande n° 00-062, ou la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Dommages causés par le quizalofop-p-éthyl

La planche 136, p. 346, illustre les dommages attribuables au quizalofop-p-éthyl. Les symptômes s'apparentent à des mouchetures de blanches à jaunes sur les feuilles.

Dommages causés par l'acétolactose-synthase (ALS) (p. ex. l'imazéthapyr)

La planche 137, p. 346, illustre les dommages causés par l'ALS sur les haricots blancs. Les symptômes se manifestent par le jaunissement des feuilles dans la partie haute ou la partie basse du plant. Les plants peuvent aussi devenir rabougris.

8. Canola de printemps et canola d'automne

Le canola de printemps est une culture oléagineuse bien adaptée aux régions tempérées et fraîches de l'Ontario. Bien qu'elle n'occupe pas une grande superficie, cette culture peut être celle qui rapporte le plus dans les régions qui se prêtent à sa culture. En ce qui a trait aux semis et à la gestion, les mêmes pratiques s'appliquent en général au canola d'automne et au canola de printemps. Les différences dans les pratiques de gestion sont indiquées ci-dessous.

Méthodes de travail du sol

Méthode traditionnelle

La plus grande partie du canola est cultivée selon la méthode traditionnelle. Parce que les lits de semence grossiers nuisent au contact sol-semence, un travail du sol primaire à l'automne est indiqué sur les sols argileux ou les loams argileux. Au printemps, le travail du sol secondaire se limite au strict minimum afin de préserver le plus possible l'humidité du sol.

L'ampleur du travail du sol nécessaire dépend du type de sol et des conditions météorologiques du printemps. Un travail efficace du chaume et la maîtrise de la repousse de canola et des crucifères adventices telle la moutarde des champs, aident à réduire l'incidence des maladies, ce qui est particulièrement important dans les tournières.

Travail réduit du sol

Le canola donne de très bons résultats quand il est soumis aux méthodes de travail réduit du sol, à la condition que le semoir puisse placer le grain sous les résidus et exercer une pression ferme sur le sol. Les limaces peuvent grandement réduire un peuplement si la couche de résidus est épaisse et humide.

Semis direct

La méthode du semis direct peut s'utiliser dans les cultures de canola pour peu que l'étalement des résidus, la lutte contre les mauvaises herbes et la mise en place de l'engrais soient irréprochables. L'avantage que procure le semis direct de garder le sol humide peut être précieux les saisons de croissance sèches. Le canola tolère en effet moins bien le temps sec que les céréales. Les limaces sont à craindre quand la couche de résidus est épaisse, surtout s'il s'agit de résidus de céréales.

Compactage du sol

Les sols compactés entravent la croissance des racines ce qui, par la suite, risque de donner des plants souffrant de carences nutritives et de sécheresse. Les sols compactés sont parfois détrempés au printemps, ce qui retarde les semis et accroît le risque de pourritures des racines. On peut éviter le compactage du sol en limitant le nombre de passages de la machinerie lourde dans le champ avant et après les semis et en s'abstenant de travailler les champs s'ils sont détrempés (voir la rubrique *Compactage du sol*, p. 29).

Variabilité d'un champ à l'autre

Le canola pousse facilement dans les champs bien drainés qui ont un pH d'au moins 5,5. Les champs dont le drainage et le pH varient donnent des densités de peuplement et des rendements inégaux.

Choix du cultivar

Maturité — Unités thermiques de croissance

Canola de printemps

Le canola de printemps est une culture de saison fraîche qui parvient à maturité en approximativement 100 jours (90 jours dans le sud-ouest de l'Ontario et 125 jours à New Liskeard). Des températures fraîches sont nécessaires au stade de la formation des gousses, étant donné que des températures élevées en causeraient l'avortement. Les céréales de printemps survivent mieux à des conditions de croissance sèches que le canola de printemps. Il existe deux types prédominants de canola de printemps : le canola de type polonais (*Brassica rapa*) et le canola de type argentin (*Brassica napus*). Tous les cultivars actuels utilisés en Ontario sont de type argentin. On trouve par ailleurs des cultivars à pollinisation libre et des hybrides.

CHOIX DU CULTIVAR

Canola d'automne

Le canola d'automne offre un meilleur potentiel de rendement que le canola de printemps, même si la marge s'amenuise. Le canola d'automne est moins rustique que le blé d'automne. Les régions qui bénéficient d'une bonne couverture de neige, d'un climat modéré et qui risquent peu les accumulations de glace sont mieux adaptées à la culture du canola d'automne. En Ontario, les régions qui reçoivent des vents frais du lac Huron sont bien adaptées à la culture du canola d'automne, puisque le lac adoucit toute l'année les températures des terres environnantes. Les sols mal drainés ou fortement argileux sont déconseillés car ils prédisposent la culture au déchaussement des racines. La formation de couches de glace est une cause importante de destruction hivernale. Les pratiques de gestion de sol qui améliorent le drainage de surface réduisent au minimum la formation de glace. Les sols loameux offrent un milieu de croissance idéal au canola d'automne.

De nouveaux cultivars prometteurs ayant une plus grande rusticité et une meilleure résistance à la maladie de la jambe noire pourraient bientôt faire leur apparition sur le marché, ce qui permettrait la culture du canola dans plus de régions de l'Ontario. Il est important de noter que certains producteurs de la région du lac Huron connaissent des problèmes de racines de canola d'automne qui pénètrent dans les drains agricoles. Ces problèmes sont plus prononcés l'année qui suit la culture du canola d'automne, lorsque les racines, emportées dans les drains, les obstruent parfois. Éviter de semer du canola d'automne dans les champs où des drains agricoles viennent d'être installés et dans les champs où de l'eau stagnante risque d'être restée dans les drains.

Choix de cultivars de première qualité

On trouve sur le marché à la fois des hybrides et des cultivars à pollinisation libre. Les rendements et les caractéristiques variétales des cultivars évalués par le Comité ontarien des cultures oléagineuses sont présentés dans la fiche technique du MAAARO, *Cultivars de canola de printemps et de canola d'automne recommandés*, qui est disponible sur le site Web http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/facts/00-114.htm.

Lors du choix d'un cultivar, considérer des caractéristiques autres que le rendement, telle que la résistance à la verse, le pourcentage de graines brunes et vertes et la teneur en acides gras libres. Il existe des différences variétales en ce qui a trait à la facilité d'égrenage des gousses à maturité. Cette caractéristique est particulièrement importante lorsque le canola est récolté par moissonnage-battage.

Verse

La verse est cotée selon une échelle de 1 (culture debout) à 5 (culture couchée). Une cote faible est préférable pour une récolte facile et un minimum de pertes avant récolte.

Graines brunes

La qualité de la graine est importante au maintien d'un marché de cultivars de canola en Ontario. Les graines brunes (avortées prématurément) sont le résultat d'un stress (chaleur et sécheresse) et sont directement liées à une production élevée d'acides gras libres.

Acides gras libres

Les acides gras libres (AGL) font rancir les huiles rapidement. Ils dégradent l'huile au point, parfois, d'en empêcher la commercialisation et peuvent poser problème certaines années. Une teneur élevée en AGL survient lorsque les molécules d'huile que renferme la graine se brisent. Les différentes couleurs brunes des graines sont habituellement attribuables aux différences variétales. Les graines brunes sont des cotylédons bruns, donc morts, plutôt que des cotylédons jaunes, donc viables, que l'on voit lorsque la graine, parvenue à maturité, est écrasée afin d'être inspectée. L'enregistrement d'un nouveau cultivar n'est possible que si les teneurs en AGL sont moindres que celles du cultivar témoin.

Graines vertes

Les graines vertes (immatures) sont nettement vertes quand elles sont écrasées. À l'examen d'une graine écrasée, les grades Canada n° 1 et n° 2 peuvent contenir respectivement jusqu'à 2 % et 6 % de graines nettement vertes. Les graines vertes sont un problème quand elles sont récoltées avant d'avoir changé de couleur ou qu'elles ont souffert d'un stress dû à la chaleur ou à la sécheresse alors qu'elles étaient presque à maturité.

Les teneurs en huile et en protéines, et les caractères agronomiques tels que la hauteur du plant, la précocité de floraison et la précocité de maturation doivent aussi être pris en compte.

Biotechnologie

On trouve maintenant sur le marché en Ontario des cultivars qui possèdent des caractères spéciaux

comme la résistance à des herbicides. Ces cultivars intéresseront les producteurs qui cherchent à combattre des plantes adventices spécifiques ou qui utilisent certaines méthodes de travail du sol.

Semis et développement de la culture

Qualité de la semence

Bien connaître la qualité de la semence à mettre en terre. Une semence certifiée a satisfait aux normes de pureté et de germination. La qualité d'une semence ordinaire n'est pas connue à moins que son pouvoir germinatif ait été testé avant les semis (voir l'annexe H, *Laboratoires d'analyse des semences accrédités par l'Agence canadienne d'inspection des aliments*, p. 310).

Traitement des semences

Le traitement des semences peut aider à maintenir la qualité des semences les jours qui suivent les semis, et la santé des plantules les jours qui suivent la germination. On doit traiter les semences de canola avec un mélange de fongicide et d'insecticide. Le fongicide est nécessaire pour combattre les maladies transmises par la semence et les maladies transmises par le sol en début de saison, notamment la maladie de la jambe noire, la pourriture des semences, la fonte des semis et la brûlure des semis. On utilise des insecticides pour maîtriser les altises qui se trouvent sur le canola en train de lever. La plupart des semences sont vendues déjà traitées. Pour obtenir plus d'information sur les choix d'insecticides et de fongicides, consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Date de semis

Canola de printemps

Les semis doivent être faits aussitôt que les conditions du sol le permettent. Le canola est sensiblement moins tolérant aux gelées de printemps et est plus lent à s'établir que les céréales. Lorsque les plantules lèvent, le point végétatif se trouve entre les cotylédons. Les plantules de canola peuvent se remettre d'une gelée qui endommage les feuilles pour autant que le point végétatif ne soit pas endommagé. La période des semis recommandée se situe entre la fin avril et le début mai. Tout retard des semis entraîne des chutes de rendement. Pour une germination rapide, les températures du sol doivent être au-dessus de 10 °C (50 °F).

Canola d'automne

Les semis doivent être faits entre le 15 et le 30 août (entre le 20 août et le 10 septembre dans les comtés de Kent et d'Essex). Les semis faits entre ces dates permettent au système racinaire du plant de canola de se développer suffisamment (environ 1,25 cm ou ½ po de diamètre) pour résister au déchaussement par le gel et au dessèchement au printemps. Il n'est pas recommandé d'effectuer les semis au delà de ces dates, sous peine d'accroître considérablement les risques de destruction hivernale. Si le canola produit des graines à l'automne, il ne survivra pas à l'hiver. À l'automne, il peut arriver que la concurrence exercée par les mauvaises herbes et les céréales spontanées forcent la croissance du canola et augmentent de ce fait les risques de destruction hivernale.

La levée a lieu entre 4 et 10 jours après les semis. Quand les plantules sortent de terre, le point végétatif apparaît entre les cotylédons (feuilles séminales).

Écartement des rangs, taux et profondeur de semis

Le canola peut être semé avec un semoir à céréales, un rouleau semeur ou des distributeurs centrifuges, à raison de 4 à 5 kg/ha (3,5–4,5 lb/ac).

Le plus souvent, les semis se font à l'aide de semoirs à céréales calibrés pour semer en rangs espacés de 18 cm (7 po) à un taux de semis de 15 à 20 graines/m de rang (4–6 graines/pi). La profondeur du semis doit être de 1 ou 2 cm (7/16–1 po) si le sol est suffisamment humide, et plus profondément, au besoin, pour mettre la semence en contact avec la couche humide, sans toutefois dépasser 4 cm (1½ po).

Semis à la volée

Dans les cultures de canola, la méthode du semis à la volée est moins souvent utilisée que par le passé, mais elle peut encore être indiquée dans certaines situations. Certains producteurs font le semis à la volée du canola directement sur le sol gelé (semis sur sol gelé) après avoir peu ou pas travaillé le sol. Cette méthode a l'avantage d'offrir un potentiel de rendement supérieur grâce à une date de semis précoce, une économie de temps et des coûts moindres. Le principal désavantage du semis à la volée est le manque d'uniformité dans la profondeur de semis. La blessure par le gel est aussi un risque lié à une date de semis précoce. Une bonne préparation du lit de semence avant le semis à la volée, suivie d'un hersage ou d'un passage des rouleaux assurent une profondeur de semis constante et un bon contact sol-semence. En dépit de ces soins, les semis effectués

à la volée peuvent donner des peuplements qui manquent d'uniformité les années sèches. Les taux de semis doivent être plus élevés que lorsqu'on utilise un semoir à céréales (6–8 kg/ha ou 5,3–7,1 lb/ac). Faire subir à la semence un traitement à la fois insecticide et fongicide lorsque les semis sont effectués à la volée.

Conditions du lit de semence

Un lit de semence ferme et bien nivelé est l'élément le plus important pour l'établissement d'un peuplement uniforme et l'obtention de bons rendements. Le sol doit être suffisamment ferme pour que la marque laissée par un talon ne soit pas plus profonde que l'épaisseur de la semelle d'une botte de travail. Un lit de semence ferme aide aussi à garder l'humidité près de la surface. Un sol dont la surface est friable ne forme pas de flaques d'eau ou ne s'encroûte pas suite à une forte pluie. Ce point est important, car il n'est pas possible par la suite de remédier à l'encroûtement. Le passage des rouleaux avant les semis peut aider à niveler et à raffermir le lit de semence, ce qui permet de mieux maîtriser la profondeur de semis et de réduire les pertes d'humidité du sol. Le passage des rouleaux après les semis améliore généralement la levée et le rendement, surtout si le sol risque de s'assécher avant la levée.

Rotation des cultures

Faire une rotation sur quatre ans avec des cultures autres que des crucifères. Ne pas semer du canola dans un champ adjacent à des champs où du canola a poussé l'année précédente, étant donné que des spores aéroportées peuvent être libérées du chaume des cultures précédentes pendant aussi longtemps que 3 ou 4 ans. Éviter de faire la rotation avec d'autres dicotylédones telles que le soya ou le tournesol, puisqu'elles sont des hôtes intermédiaires de la moisissure blanche (*Sclerotinia*).

Noter que des herbicides utilisés dans les cultures du maïs et du soya peuvent laisser dans le sol des résidus qui peuvent endommager les plantules de canola. Le canola est particulièrement sensible aux herbicides comme les triazines et les inhibiteurs de l'acétolactate synthase (ALS) (herbicides du groupe 2). Certains de ces herbicides peuvent agir différemment selon le pH du sol ou la teneur du sol en matière organique. Avant les semis, consulter les étiquettes des produits herbicides utilisés antérieurement, afin de déceler toute restriction éventuelle. Consulter le tableau 2, Restrictions (rotation des cultures et pH du sol), de la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Reprise des semis

En général, une faible densité de peuplement a peu de répercussions sur les rendements du fait que les plants de canola se ramifient alors beaucoup. Un peuplement uniforme de 10 plants/m^2 (1 plant/pi^2) donnera un rendement équivalent à 90 % de celui produit par une densité normale. Étant donné que le canola bénéficie d'un semis précoce, il est généralement préférable, si on doit reprendre les semis, d'opter pour une culture différente.

Développement des plants

Le canola prospère dans des champs bien drainés qui affichent un pH d'au moins 5,5. Le canola est une plante à pollinisation directe ou croisée, selon divers facteurs environnementaux. Le pollen peut être porté par le vent sur une distance allant jusqu'à 500 m (1600 pi). Les abeilles peuvent transporter du pollen sur plus de 2 km (1,2 mi). On a observé que la dérive de pollen de canola provenant de cultivars tolérants aux herbicides pouvait faire « dériver » les caractères génétiques d'un champ à l'autre. Là où la pureté génétique de la semence de canola est importante, il faut allouer des distances suffisantes entre les champs afin de bien isoler les cultures.

Principaux stades de croissance du canola

Rosette

Une rosette de feuilles se forme. Les feuilles plus vieilles à sa base grossissent, tandis que les feuilles plus jeunes et plus petites se développent en son centre. Le développement foliaire est directement relié à la vitesse de croissance et au rendement final.

Bouton

L'allongement des jours et l'augmentation des températures déclenchent au centre de la rosette la formation d'un bouton qui lève en même temps que la tige qui allonge rapidement. Au début de la floraison, la tige principale atteint de 30 à 60 % de sa taille finale. Une grande surface foliaire (spécialement les feuilles du haut) à ce stade influence grandement la formation des gousses et le rendement final.

Floraison

La floraison commence à l'ouverture du bouton le plus bas sur la tige principale. Elle progresse de bas en haut sur la tige principale et les tiges latérales. La floraison dure entre 14 et 21 jours. Le plant atteint la hauteur maximale au pic de floraison. Des températures chaudes pendant la floraison peuvent provoquer l'apparition de signes d'échaudage et réduire les rendements (voir planche 138, p. 346).

Tableau 8–1.
Doses d'azote recommandées pour le canola de printemps

Ratio du prix[1] ($/kg N:$/kg canola)	Régions recevant au plus 2300 UTC	Régions recevant plus de 2300 UTC
	Doses d'azote (kg/ha)	
3,3	110	90
2,5	130	100
2,0	140	110

100kg/ha = 90 lb/ac

[1] Pour utiliser ce tableau, il faut connaître ou estimer le prix du canola. Le canola à 350 $/tonne et l'azote à 0,65 $/kg donnent un ratio du prix de 1,9 (0,65 ÷ 0,35). Si tel était le marché, il faudrait utiliser environ 140 kg d'azote/ha dans les régions qui ne reçoivent pas plus de 2300 UTC.

Tableau 8–2.
Azote nécessaire au printemps au canola d'automne

Ratio du prix[1] ($/kg N:$/kg canola)	Rendement attendu[2] en t/ha		
	2	3	4
	Dose d'azote la plus avantageuse (kg de N/ha)		
3,3	125	170	195
2,5	160	195	210
2,0	180	210	220

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Pour utiliser ce tableau, il faut connaître ou estimer le prix du canola. Le canola à 350 $/t et l'azote à 0,65 $/kg donnent un ratio du prix de 1,9 (0,65 ÷ 0,35). Si tel était le cas et avec un rendement attendu de 3,0 t/ha, on devrait utiliser 210 kg d'azote/ha.

[2] 1 t/ha = 893 lb/ac

Mûrissement

La feuille, la tige et particulièrement la surface des gousses sont d'importantes sources d'éléments nutritifs pour la graine en développement. Le remplissage des gousses est complet environ 30–40 jours après l'ouverture de la fleur. Le mûrissement des gousses s'accomplit de bas en haut du plant.

Fertilité

Mise en place de l'engrais et moment de l'épandage

La plupart des engrais destinés au canola sont épandus en pleine surface. Les grandes quantités d'azote nécessaires et les méthodes de semis utilisées sont incompatibles avec l'épandage en bandes au moment des semis. À l'occasion, particulièrement lorsque l'analyse du sol révèle une faible teneur en phosphore, il est avantageux d'épandre du phosphore en même temps que les semis. S'assurer de ne pas dépasser les doses sûres. La dose d'engrais azoté appliquée avec la semence ne doit pas dépasser 11 kg/ha (10 lb/ac). N'utiliser avec les semences que du superphosphate ou du phosphate monoammonique.

Azote

Canola de printemps

Le canola a énormément besoin d'azote. Les recommandations concernant la fertilisation azotée du canola figurant au tableau 8–1, *Doses d'azote recommandées pour le canola de printemps*, ci-dessus, sont basées sur le ratio du prix de l'engrais azoté à celui du canola. Les doses doivent être révisées à la baisse si du fumier a été épandu ou si la culture précédente contenait des légumineuses, comme la luzerne (voir le tableau 2–15, *Réduction des besoins d'azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, p. 42, et le tableau 2–16, *Quantités moyennes de phosphate et de potasse biodisponibles, de matière sèche et d'azote, selon la source d'éléments nutritifs organiques*, p. 43). L'incidence de graines vertes serait liée à la surfertilisation azotée du sol.

Canola d'automne

Épandage à l'automne

Épandre jusqu'à 40 kg d'azote/ha (36 lb/ac) à l'automne. Aucun engrais azoté ne devrait être épandu si la terre a été laissée en jachère un ou plusieurs mois avant le semis, si des légumineuses fourragères ont été enfouies comme engrais vert ou si du fumier a été épandu avant les semis.

Épandage au printemps

La dose d'azote recommandée au printemps est fondée sur le rendement prévu et sur le ratio du prix de l'engrais azoté à celui du canola. Voir le tableau 8–2, *Azote nécessaire au printemps au canola d'automne*, ci-dessus.

Phosphate et potasse

Les doses recommandées de phosphate et de potasse pour le canola sont données au tableau 8–3, *Doses recommandées de phosphate et de potasse pour le canola de printemps, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO*, p. 276. Les producteurs qui veulent savoir comment interpréter ce tableau ou qui

Tableau 8-3.
Doses recommandées de phosphate et de potasse pour le canola de printemps, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAARO

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium (ppm)	Cote	Phosphate (P_2O_5)[1] nécessaire (k/ha)	Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium (ppm)	Cote	Potasse (K_2O)[1] nécessaire (kg/ha)
0-3	BASSE	70	0-15	BASSE	70
4-5		60	16-30		50
6-7		50	31-45		40
8-9		30	46-60		30
10-12	MOYENNE	20	61-80	MOYENNE	20
13-15		20	81-100		20
16-20	HAUTE	0	101-120	HAUTE	0
21-25		0	121-150	TRÈS HAUTE	0
26-30		0	151-180		0
31-40	TRÈS HAUTE	0	181-210		0
41-50		0	211-250		0
51-60		0	251 +	EXCESSIVE[2]	0
61 +	EXCESSIVE[2]	0			

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Dans les champs fertilisés au fumier, il faut réduire la dose d'engrais en fonction de la quantité et du type de fumier épandu (voir sous la rubrique *Fumier*, p. 23).

[2] Une cote « excessive » risque de se traduire par une diminution du rendement ou de la qualité de la culture.

ne disposent d'aucun résultat d'analyse de sol reconnue par le MAARO peuvent se référer à la rubrique *Recommandations d'engrais*, p. 36.

Le canola a besoin de plus de phosphore que les céréales à cause de la teneur en protéines plus élevée de la graine. Une culture de canola de 2,5 t/ha (1 t/ac) tire du sol en moyenne 66 kg d'engrais phosphaté (P_2O_5)/ha (59 lb/ac). La germination et la levée sont des périodes où le canola est très sensible aux sels contenus dans les engrais. Or, ceux-ci peuvent réduire considérablement les peuplements. La plupart des recherches faites au Canada démontrent que 11-17 kg d'engrais phosphaté de démarrage/ha (10-15 lb/ac) donnent un bon rendement. Le meilleur rendement provient des sols dont les résultats d'analyse sont bas ou moyens et lorsque des semis sont faits dans un sol frais.

Carences nutritives

Soufre

Le canola a besoin d'environ deux fois plus de soufre que les céréales. Les sols du sud et du nord-est de l'Ontario renferment en général suffisamment de soufre, sous forme de soufre natif contenu dans le sol ou de soufre provenant de dépôts atmosphériques, pour que les cultures donnent des rendements optimaux. Les essais effectués n'ont pas permis de dégager une réaction constante du canola aux engrais renfermant du soufre ni dans le sud ni dans le nord-est de l'Ontario. On a trouvé dans le nord-ouest de l'Ontario des cas isolés de sols carencés en soufre et pauvres en matière organique. Dans les cultures de canola, une carence en soufre se manifeste par le jaunissement général de tout le plant.

Bore

Le canola souffre rarement de carences en bore. Les symptômes de carence comprennent l'avortement des graines, des gousses difformes et des feuilles rubanées. Une carence en bore, bien que très rare, peut faire chuter le rendement de manière significative. Elle peut par contre être corrigée par des applications foliaires ou au sol d'engrais solubles à base de bore.

Récolte et entreposage

Le plus souvent, le canola est récolté par andainage suivi du moissonnage-battage, quoique la récolte en coupe directe soit aussi employée.

Récolte en coupe directe

La récolte en coupe directe est plus avantageuse lorsque la maturité et la densité de peuplement de la culture sont uniformes et que la culture est relativement lourde, partiellement versée et bien fournie. Ces conditions réduisent le risque d'égrenage et de chute des gousses par le vent. La culture est prête à être récoltée en coupe directe quand les gousses cliquettent lorsqu'elles sont secouées. Certains cultivars sont moins vulnérables à l'égrenage sur pied et de ce fait conviennent bien à la récolte en coupe directe. Il faut se demander si la récolte en coupe directe est aussi avantageuse que l'andainage, compte tenu de la nécessité d'utiliser un dessicant et des coûts qui y sont associés. La teneur en huile de la graine a tendance à être plus élevée lorsque la culture est récoltée en coupe directe.

Andainage

L'andainage fait au bon stade de maturité réduit la quantité de graines vertes et les pertes de graines dues à l'égrenage sur pied. La couleur de la graine est plus importante que la couleur de l'ensemble du champ. Lorsque la graine parvient à maturité physiologique, c.-à-d. lorsqu'elle a une teneur en eau de 35–40 %, elle passe du vert au jaune, puis au brun foncé. Il est temps d'andainer quand la majeure partie de la culture d'un champ est prête. Le meilleur moment d'andainer arrive lorsque 30–40 % des graines des gousses de la tige principale sont passées au rouge ou au brun.

Comme ce sont les gousses du bas du plant de canola qui mûrissent en premier, les gousses du haut peuvent être encore verdâtres lorsque le producteur est prêt à récolter. Les pertes de rendement et les réductions de qualité (graines vertes et teneur plus faible en huile) sont importantes si la culture est andainée avant que 10 % des graines aient changé de couleur. L'andainage fait à une date ultérieure peut entraîner un trop grand égrenage des gousses. Dans les champs de plus grande superficie, si l'andainage commence lorsque 25 % des graines ont changé de couleur, le gros de la culture peut être andainée presque à maturité optimale. Par temps chaud et sec, la proportion de graines ayant changé de couleur peut vite passer de 10 % à près de 50 % en quelques jours.

Il n'est pas recommandé d'andainer par temps chaud (30 °C ou 86 °F) et sec. Si l'andainage est fait le matin ou le soir, les plants s'assèchent moins vite, ce qui réduit les risques de graines vertes ou de faible teneur en huile.

Le canola mûrit et s'assèche rapidement dans l'andain. Habituellement, 5 à 10 jours de temps sec abaisseront suffisamment la teneur en eau pour que les graines des gousses de la partie supérieure du plant deviennent fermes. Les graines de canola en andain peuvent perdre 1 % d'eau ou plus à l'heure. Beaucoup d'exploitants commencent le moissonnage-battage quand les graines contiennent un peu plus de 10 % d'eau.

L'andainage du canola peut se faire à l'aide d'une andaineuse à large ouverture. Il est parfois avantageux d'andainer lorsque la culture est légèrement humectée par la rosée ou par une légère bruine. Effectuer une coupe assez haute pour que le chaume supporte l'andain (et que la moissonneuse ne s'use pas trop) et assez basse pour laisser une bonne longueur d'andain de manière à faciliter l'alimentation de la ramasseuse.

À la fin de l'automne, si l'on prévoit du gel et que les plants n'ont pas atteint leur maturité optimale, l'andainage fait lorsque 10 % des graines ont changé de couleur réduira le nombre de graines vertes dues à la gelée. Un champ qui a été andainé 3 jours avant une gelée ne souffrira que de dommages mineurs.

Moissonnage-battage des andains de canola

Il faut compter les graines vertes et vérifier la teneur en eau des graines avant de commencer le moissonnage-battage. Si le temps est chaud et venteux, les graines peuvent avoir une teneur en eau convenable pour le moissonnage-battage, sans toutefois avoir eu suffisamment de temps pour se débarrasser de la chlorophylle. Plusieurs rosées ou pluies légères aideront les graines à se débarrasser de la couleur verte. À des conditions d'assèchement appropriées, la teneur en eau baisse rapidement. Le moissonnage-battage peut commencer dès que la teneur en eau tombe à environ 12 %. La plupart des manuels d'utilisation des modèles courants de moissonneuses-batteuses comportent des directives particulières concernant le canola. Il est préférable d'utiliser un tapis d'alimentation à toile rotative. Le réglage du ventilateur est primordial. Employer un débit d'air juste assez fort pour faire flotter la paille et les gousses sur la grille supérieure et dégager les graines de la paille. Sur les moissonneuses-batteuses de grande capacité, on assure un passage plus rapide de la récolte en alimentant l'appareil à pleine capacité, en optant pour un débit moyen du

ventilateur et en ouvrant partiellement les cribles. Même avec un bon réglage, certaines gousses tombent dans la trémie. Pour avoir un échantillon tout à fait propre, il faudrait une ventilation plus forte qui risquerait d'entraîner les graines à l'extérieur de la machine.

Entreposage

La graine de canola est vendue en fonction d'une teneur en eau de 10,5 %, mais pour qu'elle ne se détériore pas en entrepôt, on devrait abaisser sa teneur en eau en dessous de 10 %. La teneur en eau convenable pour l'entreposage dépend de la température. À 30 °C (86 °F), la teneur en eau de la graine ne devrait pas dépasser 8 %. Comme les graines du canola sont très petites, l'air ne circule pas facilement dans la masse. Si les graines sont gourdes ou humides, il faut les étendre en couches minces et vérifier fréquemment qu'il n'y a pas d'échauffement. On peut aussi sécher le canola à l'aide d'un séchoir à céréales réglé à basse température, mais il doit être muni de grilles à très petites ouvertures afin que les pertes soient minimes.

Lutte contre les mauvaises herbes

Période critique de lutte contre les mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes doit se faire dans les premiers stades de croissance du canola. Une fois que le canola est établi, il a tendance à très bien concurrencer les mauvaises herbes. Des études ont démontré que le canola doit être gardé exempt de mauvaises herbes jusqu'à ce qu'il atteigne le stade de 4 à 6 feuilles. Dans le canola d'automne, les céréales spontanées peuvent parfois poser des problèmes. Si les densités de peuplement des céréales spontanées et des mauvaises herbes annuelles sont élevées, la croissance du canola d'automne sera forcée. Or, ce forçage cause la destruction hivernale du canola d'automne.

Pertes de rendement dues aux mauvaises herbes

Les pertes de rendement varient autant en fonction des espèces de mauvaises herbes et de leur densité de peuplement qu'en fonction du moment de la levée des mauvaises herbes. Les plants à levée tardive ont tendance à être moins concurrentiels et à produire moins de graines par plant. Le canola, une fois établi, concurrence mieux les mauvaises herbes que les cultures en rangs comme le maïs ou le soya.

Des recherches dans l'Ouest canadien ont démontré que 2 plants de folle avoine/m^2, 2 plants d'orge spontanée/m^2, 4 plants de blé de printemps spontané/m^2 ou 100 plants de sétaire verte/m^2 amenaient une perte de rendement de 5 %. D'autres recherches, effectuées en Ontario cette fois, ont démontré que les dicotylédones annuelles sont relativement plus concurrentielles que les graminées annuelles (voir tableau 3–26, *Pertes de rendement attribuables aux mauvaises herbes dans le maïs en fonction de densités de peuplement connues*, p. 86, et le tableau 4–17, *Perte de rendement du soya due aux mauvaises herbes*, p. 136).

Lutte intégrée contre les mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes dans les cultures de canola est influencée par les facteurs suivants :

- rotation des cultures;
- écartement des rangs;
- densité de peuplement;
- caractéristiques variétales;
- pratiques de travail du sol.

La culture du canola fournit l'occasion de combattre les mauvaises herbes à la fin de l'été, après la récolte. Toutefois, les mauvaises herbes qu'on laisse pousser après la récolte du canola peuvent contribuer à augmenter considérablement la réserve de graines de mauvaises herbes contenues dans le sol et créer ainsi des problèmes de mauvaises herbes dans les cultures subséquentes. Les interventions dirigées contre les mauvaises herbes annuelles qui poussent après la récolte du canola seront effectuées avant celles qui sont dirigées contre les mauvaises herbes vivaces comme le chiendent dont la production de graines est minime.

La rotation des cultures peut combattre efficacement certaines mauvaises herbes vivaces qui poussent mieux dans une culture donnée. Pour s'assurer que la culture concurrence bien les mauvaises herbes, utiliser des semences vigoureuses et de haute qualité de manière à obtenir des peuplements uniformes, et respecter les densités de peuplement recommandées. Des semis précoces assurent par ailleurs à la culture une longueur d'avance sur les mauvaises herbes. Se garder toutefois de semer trop profondément, sous peine de retarder la levée et de favoriser les mauvaises herbes.

La machinerie peut transporter des graines de mauvaises herbes d'un champ à l'autre. Les moissonneuses-batteuses, le matériel de travail du sol et l'érosion du sol peuvent tous disséminer des mauvaises herbes. Celles-ci peuvent aussi infester un champ à la suite d'un épandage de fumier ou de tout autre amende-

ment apporté au sol. De bonnes pratiques d'assainissement et de nettoyage du matériel de même que l'entretien du pourtour des champs sont autant de moyens d'assurer à long terme une lutte efficace contre les mauvaises herbes.

Se reporter à la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour plus d'information sur les produits herbicides et les doses à employer.

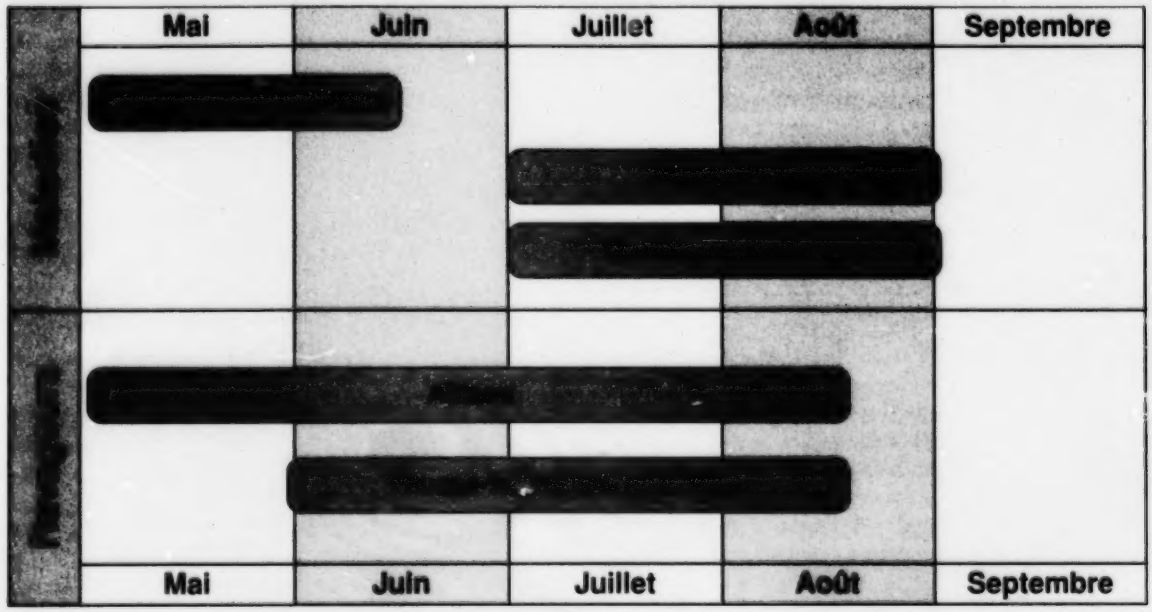


Figure 8–1.
Calendrier de dépistage des ennemis du canola

Ravageurs

Altises

Description : Deux espèces d'altises s'attaquent aux cultures de canola : l'altise rayée, qui mesure environ 1,5 mm de long et possède deux bandes de couleur crème sur le dos; et l'altise des crucifères, qui mesure aussi 1,5 mm de long et qui est bleu-noir, sans toutefois être rayée (voir planche 139, p. 346). Les altises sautent lorsqu'elles sont dérangées. Les larves sont blanches, mesurent environ 3 mm de long et ont la tête brunâtre.

Cycle biologique : L'altise au stade adulte hiverne dans des zones abritées tels les boisés sous les couches de feuilles mortes. Au début de mai, les adultes émergent et commencent à se nourrir de plantules de canola nouvellement levées. L'alimentation des altises s'intensifie sous des températures chaudes et ensoleillées. La ponte des œufs se fait soit sur le sol, soit dans le sol entre mai et la fin juin. Les larves éclosent et se nourrissent des racines de la culture en croissance. Les larves causent des dommages à la culture pendant environ un mois, de juin à la fin juillet. Les larves effectuent alors leur pupaison et des adultes émergent des pupes au début août. Ils se nourrissent de canola jusqu'à la fin octobre. Les altises cherchent alors des endroits où passer l'hiver à l'abri. L'altise donne une génération par année.

Dommages : Les altises autant que les larves se nourrissent de canola; cependant, on considère que ce sont les altises au stade adulte qui causent des dommages. Les dommages les plus graves se font au cours des trois semaines qui suivent la germination. La population d'adultes du printemps se nourrit des feuilles des plantules qu'elle crible de « trous de balle ». Tôt ou tard, les feuilles et les plants flétrissent et meurent. Les peuplements s'éclaircissent et les plants deviennent rabougris. On signale des pertes allant jusqu'à 50 % de la récolte au cours de fortes infestations. Lorsque la culture atteint le stade 3–4 feuilles, elle peut supporter les dommages. L'alimentation de la population d'adultes de l'automne ne pose habituellement pas de problèmes sauf en ce qui concerne le canola d'automne. L'alimentation des altises s'intensifie sous des températures douces et sèches.

Techniques de dépistage : Aux deux jours, faire le dépistage des champs de canola fraîchement levé, tout spécialement le long des rangs périmétriques, pour surveiller la migration des adultes ayant hiverné dans les haies-clôtures et les boisés. Inspecter 10 plants à cinq endroits différents du champ afin de déterminer les dommages causés par les altises et le pourcentage approximatif de défoliation. Surveiller le champ attentivement : rechercher la présence de petits trous d'épingle sur les feuilles, jusqu'à ce que les plants aient dépassé le stade 4 feuilles.

Seuil d'intervention : Si elles bénéficient de bonnes conditions de croissance, les plantules de canola peuvent supporter jusqu'à 25 % de défoliation au stade cotylédon sans subir de perte de rendement significative. Au moment des semis, un traitement des semences à l'aide d'un insecticide est nécessaire afin de maîtriser les altises dont il est difficile de prédire la densité de population.

Stratégies de lutte : Les mesures de lutte à l'aide d'insecticides devraient être dirigées contre les altises au cours des premiers stades de croissance des plantules. On trouve sur le marché des traitements destinés aux semences qu'on peut faire suivre de traitements insecticides foliaires si les altises s'attaquent à la culture une fois que le traitement des semences a cessé de faire effet. Les insecticides utilisés pour le traitement des semences ne maîtrisent pas tous les altises pendant la même durée, de telle sorte qu'il faut combiner certains produits à un insecticide granulaire de manière à assurer une protection plus prolongée. Un traitement foliaire peut se révéler nécessaire pour lutter contre les altises si la croissance du plant est lente et que les populations d'altises sont élevées. S'il y a des dommages isolés sur les pourtours du champ, des traitements localisés peuvent être effectués. Se référer à la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour les insecticides recommandés. Le canola est une culture fourragère que les abeilles mellifères aiment butiner. Éviter d'épandre des insecticides pendant la floraison. L'arrachage des crucifères adventices telles que les moutardes, sisymbres et vélars sur les pourtours du champ enlève des sources de nourriture de remplacement.

Fausses-teignes des crucifères

Description : Au stade adulte, l'insecte est une petite noctuelle de couleur gris pâle tirant sur le brun qui mesure environ 1 cm (voir planche 140, p. 346). On peut facilement l'identifier grâce aux taches blanches en forme de losange qui ornent son dos et qu'on peut voir lorsque ses ailes sont au repos. Les larves sont de

vert pâle à vert jaunâtre, ont la tête brune et mesurent environ 8 mm (voir planche 141, p. 347). Les larves reculent en se tortillant lorsqu'elles sont dérangées ou se laissent tomber de la feuille, retenues par un fil.

Cycle biologique : Les fausses-teignes des crucifères n'hivernent pas en Ontario, mais sont portées au début mai par des masses d'air provenant du Sud. Elles donnent trois ou quatre générations par année en Ontario. Au stade adulte, l'insecte pond ses œufs sur des crucifères adventices telles que les moutardes, sisymbres et vélars, ainsi que sur le canola spontané. Les larves éclosent en quelques jours et créent des galeries dans le limbe des feuilles. Au fur et à mesure de leur développement, les larves se nourrissent des tissus externes des feuilles. Les larves tissent des cocons pour effectuer leur pupaison. Deux semaines plus tard, les adultes émergent des pupes.

Dommages : Les principaux dommages sont causés par les larves de la deuxième génération, à la période de floraison des plants et au début de la croissance des gousses. Les jeunes larves se nourrissent des tissus internes sur le revers des feuilles où elles creusent de petites galeries. Lorsqu'elles sont en grand nombre, les larves plus vieilles se nourrissent des fleurs et de la surface des jeunes gousses. Les gousses endommagées ne se remplissent pas convenablement. De fortes infestations donneront l'impression que la culture est blanche.

Techniques de dépistage : Durant la saison de croissance, examiner deux fois par semaine 10 plants en cinq points du champ. Arracher délicatement les plants ayant des feuilles perforées comme par des balles, les secouer au-dessus d'une feuille de papier, puis compter les larves.

Seuil d'intervention : Le seuil d'intervention est atteint lorsqu'on dénombre de 200 à 300 larves/m^2 (environ 2 ou 3 larves par plant) au stade de la formation des gousses. Si une infestation printanière survient très tôt dans un champ de canola semé tardivement et que les larves se nourrissent de boutons en développement, une intervention pourrait se révéler nécessaire. Au début de la floraison, le seuil d'intervention est plus bas et un traitement est recommandé quand on dénombre 100–150 larves/m^2 (1 ou 2 larves par plant).

Stratégies de lutte : On peut se procurer sur le marché des traitements de secours quand les populations atteignent les seuils d'intervention. Se référer à la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures,* pour connaître les recommandations relatives aux insecticides. Le canola est une culture fourragère que les abeilles aiment butiner. Il faut éviter d'appliquer des insecticides pendant la floraison. On peut utiliser des pièges à la phéromone pour faire le dépistage des populations adultes de fausses-teignes des crucifères et être ainsi alerté en cas d'infestation. Éliminer toute repousse de canola ainsi que les crucifères adventices, qui sont la première source de nourriture pour la génération du printemps. Des températures fraîches et du temps pluvieux restreignent le vol des fausses-teignes des crucifères. Souvent, les femelles adultes meurent avant d'avoir pondu leurs œufs. Du temps humide consécutif à une pluie favorise la propagation d'un champignon qui tue les larves. Plusieurs guêpes prédatrices et parasites contribuent également à maîtriser ce ravageur.

Maladies

Complexe des maladies des plantules

Incidence : L'établissement du peuplement est une des grandes sources d'inquiétude pour le producteur de canola. Si le peuplement s'établit mal, c'est souvent à cause d'infections par un ou plusieurs champignons qui provoquent différentes maladies qui font partie de ce qu'on appelle le « complexe des maladies des plantules ». Les principaux champignons en cause sont *Rhizoctonia, Fusarium* et *Pythium*. Leur incidence est plus grande par temps frais.

Aspect : Une infection causée par ces champignons ou ce complexe se manifeste par de nombreux symptômes différents, dont la pourriture des semences, la fonte des semis, la brûlure des plantules et la pourriture des racines des plantules. Ces symptômes apparaissent pendant les 4 premières semaines ou au stade 4 feuilles. Les graines peuvent ne pas germer ou mourir peu après la levée. Les plantules qui lèvent peuvent paraître normales, mais être envahies d'une pourriture des racines. La fonte des semis se produit quand la pourriture des racines monte le long de la tige (hypocotyle), causant un ceinturage ou un pincement de la tige à la surface du sol ou tout près. La tige est affaiblie et risque de casser ou d'être étêtée à l'endroit où se forment les lésions d'un brun rougeâtre caractéristiques. Souvent et notamment sous des conditions climatiques sèches, les plantules infectées flétrissent ou meurent en réaction au stress causé par un système racinaire réduit (racines coupées), étranglé ou pourri. Les peuplements sont

lents à lever, clairsemés ou inégaux. Or, des peuplements non uniformes entraînent des baisses de rendement. Des pertes graves peuvent obliger à reprendre les semis.

Cycle de la maladie : Les champignons en cause survivent dans le sol, dans des résidus de végétaux en décomposition. Les conditions qui conduisent à une germination et à une croissance lentes sont propices à leur prolifération. Les parties souterraines de la plantule durcissent (se lignifient) au stade 2 à 4 feuilles ou avant dans le cas des plants vigoureux. À ce stade, les plantules sont à même de lutter contre la progression de l'infection et parviennent à régénérer des racines plus vite qu'elles n'en perdent. *Pythium* préfère des sols frais et mouillés, tandis que *Rhizoctonia* prospère dans les sols secs et légers.

Stratégies de lutte : Semer des semences de bonne qualité dans un lit de semence ferme et humide quand les conditions sont propices à une germination rapide. Le fait de traiter les semences à l'aide de fongicides réduit l'incidence des infections et facilite l'établissement du peuplement (se référer à la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*). Maintenir un bon équilibre des éléments nutritifs et éviter un apport excessif d'engrais, qui favorisent les maladies et les phytotoxicités. Éviter d'enfouir la semence profondément.

Jambe noire

Incidence : La jambe noire est une maladie fongique présente dans toutes les régions de culture du canola au Canada. Dans l'Ouest canadien, il existe deux souches (de virulence faible et élevée) du champignon. Ainsi, des pertes substantielles, causées par cette maladie, y sont enregistrées. Ces dernières années, plus de cas de la jambe noire ont été recensés en Ontario, notamment dans les champs de canola d'automne. Heureusement, la souche virulente, responsable des pertes dans l'Ouest n'a pas, à ce jour, été identifiée en Ontario.

Aspect : L'infection se manifeste d'abord sur les cotylédons ou sur les feuilles : il s'y forme des taches blanches ou chamois, de forme circulaire ou irrégulière, faisant 1–2 cm de diamètre, chacune étant marquée de nombreux points noirs (pycnides) (voir planche 142, p. 347). À mesure que la saison avance, le champignon s'étend à la tige et au collet, formant un chancre qui finit par étrangler la tige (voir planche 143, p. 347). Les plants gravement atteints mûrissent prématurément et leur collet ou le bas de la tige vire au noir ou au gris. Dans les cas extrêmes, ces plants infectés versent, les graines sont petites et ratatinées et sont probablement elles-mêmes infectées par le champignon.

Cycle de la maladie : Le champignon de la jambe noire survit sur des résidus (déchets) de canola ainsi que sur des grains et des plants infectés. Le champignon peut se propager d'un champ à l'autre par le transport de résidus ou de plants infectés. Les spores du champignon sont disséminées par la pluie, le vent et la semence infectée.

Stratégies de lutte : Utiliser des cultivars moins sensibles. La plupart des cultivars sont cotés selon une échelle de 1 (résistant) à 5 (extrêmement sensibles). Faire une bonne rotation des cultures, en laissant au moins 3 ans entre les cultures de canola. Des traitements antifongiques des semences réduisent les infections transmises par les semences et minimisent le risque d'introduction de la jambe noire dans de nouveaux champs. Cependant, la maladie peut quand même se propager d'un champ à l'autre par des plants infectés et des résidus.

Se référer à la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour les choix de traitements des semences recommandés.

Moisissure blanche (*Sclerotinia*)

Incidence : La moisissure blanche est une maladie du canola qui survient de façon sporadique dans une région et dont la gravité varie beaucoup d'une année à l'autre. Par conséquent, il est très difficile de prévoir la gravité ou le déclenchement de cette maladie qui est très destructrice pendant les longues périodes de temps pluvieux. Des pertes pouvant aller jusqu'à 50 % peuvent survenir sous des conditions qui lui sont favorables.

Aspects : La moisissure blanche provoque la formation de lésions blanches sur la tige et de sclérotes noires et dures à l'intérieur de la tige. Elle cause le vieillissement prématuré des plants (voir planche 144 et planche 145, p. 347). La maladie fait

souvent problème si la culture du canola suit une sole de canola, de haricots blancs, de soya ou de tournesol. L'infection qui commence sur les fleurs mortes se propage aux tissus adjacents où elle fait mourir les ramifications ou les plants. Les plants peuvent verser. Les tiges atteintes paraissent habituellement blanchies. Les infections du canola par Sclerotinia peuvent être graves si les deux dernières semaines de juin sont marquées par du temps frais et pluvieux qui se poursuit jusqu'au début juillet, à l'époque de la floraison.

Stratégies de lutte : Utiliser une semence propre et certifiée et pratiquer une rotation des cultures sur au moins 4 ans, en incluant dans la rotation des cultures non touchées comme le maïs, le blé, l'orge ou l'avoine dans des champs qui ont été infestés par *Sclerotinia* ou de moisissure blanche. Pendant cette rotation, il faut éviter de semer des cultures sensibles comme les moutardes, sisymbres et vélars, le tournesol, le haricot sec, le soya, les pois de grande culture, les lentilles ou les pois chiches. Actuellement, il n'existe pas de cultivars résistants. Garder les champs exempts de mauvaises herbes dicotylédones car beaucoup servent d'hôtes intermédiaires à cette maladie. Des traitements fongicides foliaires sont efficaces, mais exigent un dépistage sur le terrain et doivent être effectués à des moments précis. Se référer à la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour plus d'information sur les traitements fongicides recommandés.

Mosaïque du navet

Incidence : Le virus de la mosaïque du navet est devenu un problème d'importance dans certaines régions où le canola d'automne est cultivé.

Cycle de la maladie et aspect : L'infection se produit à l'automne et provoque la marbrure des feuilles (régions jaunes ou vert pâle entourées de la couleur verte normale) et le plissement ou le gaufrage du limbe entre les nervures (voir planche 146, p. 347). La croissance printanière est lente. Les plants gravement atteints sont rabougris, tordus et généralement de couleur vert pâle ou jaune. Les gousses sont déformées et une proportion importante de graines sont mal remplies. La maladie semble sévir plus durement dans les régions où l'on cultive des crucifères (tel le rutabaga) et dans les champs où la concurrence des mauvaises herbes et des céréales spontanées est forte.

Stratégies de lutte : Souvent, l'incidence du virus de la mosaïque du navet est forte dans le canola d'automne spontané. Si des semis hâtifs peuvent contribuer à accroître la survie hivernale de la culture dans certaines régions, ils semblent par ailleurs aggraver les infections par le virus de la mosaïque du navet là où cette mosaïque sévit déjà. On n'a signalé que des infections de peu d'importance dans les cultures de canola de printemps.

Autres problèmes liés à la culture du canola

Dommages par le gel et la grêle

Les plantules de canola peuvent se remettre d'une gelée printanière légère si le point végétatif n'est pas endommagé. Si la grêle enlève les deux cotylédons ou que la tige est brisée sous les cotylédons, les plants n'arrivent habituellement pas à survivre. Un peuplement uniforme de 10 plants/m^2 (1 plant/pi^2) a un rendement égal à 90 % d'un peuplement complet.

Si une grêle survient pendant la croissance végétative, la perte de rendement dépendra de la surface foliaire détruite. La perte de rendement correspond à environ 25 % de la surface foliaire détruite. La meurtrissure et le bris de la tige entraîneront de plus grandes pertes.

Si une grêle survient pendant la floraison, les plants peuvent compenser en développant des inflorescences secondaires et de nouvelles ramifications (voir tableau 8–4, *Pourcentage de perte de rendement due à la destruction des ramifications pendant la floraison du canola*, p. 284). Les pertes de rendement les plus grandes surviennent lorsqu'il grêle à la fin de la floraison et au stade de remplissage des gousses.

Blessures occasionnées par les herbicides

Le canola est extrêmement sensible aux herbicides du type phénoxy. Nettoyer à fond le matériel de pulvérisation avant de l'utiliser pour le canola.

Destruction par l'hiver

En Ontario, le canola d'automne est moins rustique que le blé d'automne. La destruction par l'hiver se produit surtout en mars et en avril quand des

Tableau 8–4.
Pourcentage de perte de rendement due à la destruction des ramifications pendant la floraison du canola[1]

% de ramifications perdues	Jours à partir de la première fleur				
	–7	0	7	14	21
	% de perte de rendement des semences				
10	0	0	10	10	10
20	0	0	13	20	20
30	0	0	12	29	30
40	0	0	12	32	40
50	0	0	14	36	50
60	0	0	18	42	60
70	0	0	24	50	70
80	0	5	31	60	80
90	0	12	40	71	90
100	0	20	51	84	100

[1] Recherche effectuée dans l'Ouest canadien. Conseil canadien du canola, 1994.

températures extrêmement froides sévissent à nouveau une fois que le canola d'automne a perdu de sa rusticité et a repris sa croissance. La destruction par l'hiver peut aussi être attribuable à un enneigement insuffisant, à des périodes prolongées où la culture est piégée sous une couche de glace, et au dessèchement causé par des vents glaciaux. Ces conditions climatiques entraîneront des peuplements clairsemés de canola d'automne. Si les dommages sont suffisamment graves (75 % de plants morts), il peut être impossible de sauver la culture. Cependant, si 30 % du peuplement reste intact et que les plants sains qu'il renferme sont répartis uniformément dans le champ, la culture compensera par une productivité accrue des plants restants.

Pollinisation croisée de cultivars résistants aux herbicides

Si l'on permet la pollinisation croisée de cultivars n'ayant pas tous la même résistance aux herbicides, il se peut que les repousses spontanées de canola dans les cultures subséquentes affichent des caractéristiques de résistance multiples. Séparer d'au moins 175 m les champs ensemencés de cultivars offrant une résistance à des herbicides différents. Cette distance réduira les cas de croisement d'un champ à l'autre.

Drains agricoles obstrués

On doit analyser la situation lorsque, sporadiquement, des racines de canola d'automne obstruent les drains agricoles.

9. Autres cultures

Sarrasin

Le sarrasin est une annuelle d'été à croissance rapide portant de larges feuilles en forme de cœur et des fleurs blanches. Il lui faut de 10 à 12 semaines des semis à la récolte. C'est une culture sensible au gel et généralement semée plus tard que les autres grandes cultures.

Le sarrasin est cultivé pour l'alimentation humaine, entre dans la composition d'aliments pour le bétail et sert à la fabrication du miel de sarrasin. C'est aussi une culture couvre-sol répandue qui permet de maîtriser temporairement les mauvaises herbes tout en servant d'engrais vert. Comme la graine de sarrasin contient des acides aminés, entre autres la lysine, elle constitue un apport plus complet de protéines que d'autres céréales.

L'exportation vers les pays du littoral du Pacifique, surtout le Japon, constitue le marché le plus lucratif du sarrasin à grosses graines de qualité.

Méthodes de travail du sol et préparation du lit de semence

Le sarrasin est souvent semé dans des champs abandonnés, d'anciens pâturages ou d'autres terrains négligés depuis des années. Lors de la préparation du lit de semence, il faut viser une lutte efficace contre les mauvaises herbes, une bonne conservation de l'humidité et un sol ferme.

Si le champ a été labouré à l'automne, effectuer un passage de disques au début du printemps, puis un autre passage de disques ou du cultivateur environ deux semaines plus tard pour éliminer les mauvaises herbes. On peut répéter cette séquence jusqu'au moment des semis.

Au printemps, le labour est optionnel, pourvu qu'il soit le plus superficiel possible. Pour améliorer les caractéristiques du sol et en éliminer les mauvaises herbes, il faut travailler le sol tous les 7 à 10 jours jusqu'au moment des semis. Un travail du sol peu profond empêche de ramener de nouvelles graines de mauvaises herbes à la surface et conserve l'humidité du sol. Après le hersage, le champ devrait être prêt pour les semis.

Si on laboure une prairie ou un pâturage fin juin ou début juillet, on peut y semer du sarrasin comme culture couvre-sol qui combattra les mauvaises herbes ou servira d'engrais vert.

Choix du champ

Le sarrasin donne un maximum de résultats dans un sol à texture légère ou moyenne, mais il vient bien dans une variété de sols et offre un meilleur rendement en sol pauvre que toute autre céréale. Le sarrasin préfère un sol bien drainé ayant un pH de 5,0 à 7,0. Il ne tolère pas les sols extrêmement secs, saturés ou compactés.

Un climat humide et frais convient bien au sarrasin, qui s'adapte aussi bien à un climat doux. C'est une culture sensible aux températures élevées et aux vents secs et chauds. Avec ces conditions durant la floraison, la grenaison et le rendement seront réduits. Le sarrasin est sensible au gel de fin de printemps et de début d'automne et il a besoin de 10 à 12 semaines pour arriver à maturité.

Si l'on cultive le sarrasin pour la semence, éviter de le faire dans des champs où l'on a précédemment cultivé d'autres céréales, afin de réduire la proportion de céréales spontanées. On peut remédier à ce problème par un travail du sol à l'automne et par le semis d'une culture couvre-sol d'automne que l'on enfouit au printemps avant de semer le sarrasin.

Pour le sarrasin, les possibilités de lutte contre les mauvaises herbes sont limitées, de telle sorte qu'on

obtient un rendement optimal dans des champs propres et exempts de mauvaises herbes.

Il faut également éviter les champs dont les teneurs en azote sont très élevées, ce qui peut provoquer la verse de la culture. Souvent, la croissance dense associée aux champs riches en azote s'accompagne d'une plus grande incidence de la moisissure blanche. La moisissure blanche s'attaque aux cultures de soya, de canola, de tournesol et de sarrasin. Quand c'est possible, il vaut mieux éviter les champs qui ont déjà été infectés par la moisissure blanche.

Choix du cultivar

Si la culture est destinée à l'exportation, le choix du cultivar est important. Les marchés japonais, nord-américain et européen exigent des cultivars à grosses graines pour la production de farine et de graines décortiquées. Le cultivar Mancan est très aimé, car il présente une tige épaisse de hauteur moyenne, ce qui le rend plus résistant à la verse.

Les nouveaux cultivars ont tendance à produire des graines plus grosses et ont un poids plus élevé au boisseau. Ces cultivars à grosses graines ont des feuilles plus larges, mais n'exigent pas un taux de semis plus élevé que celles à plus petites graines.

Pour trouver des cultures couvre-sol, on peut se référer à la liste des fournisseurs de semences de cultures couvre-sol à l'adresse suivante : www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops.

Semis

Le sarrasin germe à des températures entre 7 et 40,5 °C (44–105 °F), aussi les semis peuvent être effectués n'importe quand après que le risque de gel est passé.

On obtient les rendements les plus élevés si l'ensemencement a lieu immédiatement après que le risque de gel est passé. Quand c'est possible, il faut éviter que la floraison ne survienne par temps très chaud à la mi-été. Des semis hâtifs permettent de minimiser la repousse l'année suivante, cependant, quand le printemps est frais, certains producteurs ont constaté plus de mauvaises herbes avec les semis hâtifs. Quand le printemps est frais, on retardera les semis jusqu'à ce que les conditions météorologiques soient plus favorables à la levée de la culture.

Traditionnellement, le sarrasin était semé à la mi-été et souvent récolté après le gel. Même si on évite ainsi la floraison par temps chaud, la semence échappée réduit le rendement et occasionne une repousse abondante dans les cultures suivantes.

Les semis au semoir à céréales donnent un peuplement plus uniforme. Cependant on aura aussi des résultats satisfaisants avec des semis à la volée. Il faut semer à une profondeur de 4–6 cm (1½–2½ po), dans un sol humide. Il faut une profondeur de semis permettant d'atteindre la couche humide, si l'on veut une levée rapide et uniforme. Les plantules devraient lever dans les 2–5 jours.

Pour la production de semences, il est recommandé de semer à raison de 50–65 kg/ha (45–60 lb/ac), ce qui équivaut à 1–1,25 bo/ac. On atteindra ainsi le peuplement idéal de 140–183 plants/m^2 (13–17 plants/pi^2).

Pour le sarrasin utilisé comme engrais vert, semer aux taux optimaux de 0,054–0,108 t/ha (1–2 bo/ac). Des taux de semis plus élevés offrent un peuplement plus dense, qui étouffe les mauvaises herbes. Cependant, avec un peuplement plus clairsemé, la capacité du plant de se ramifier compense souvent, ce qui assure quand même une bonne maîtrise des mauvaises herbes. Avec les taux de semis les plus élevés, il faut diviser la semence en deux et effectuer deux passages perpendiculaires du semoir à céréales. On obtient ainsi un meilleur espacement des plants avec moins de tiges allongées et minces, donc moins de problèmes de verse.

La floraison commence de 5 à 6 semaines après l'ensemencement et se poursuit pendant au moins un mois. Le sarrasin présente trois stades de floraison. Les insectes, les abeilles mellifères et les abeilles coupeuses de feuilles sont les principaux agents de pollinisation et ils sont essentiels à une bonne grenaison. Une entente avec un apiculteur peut être mutuellement avantageuse.

Utilisation comme engrais vert

Le sarrasin est reconnu pour prélever le phosphate non assimilable par les autres cultures, et il augmente par conséquent la quantité de phosphore biodisponible pour les cultures qui le suivent. Pour tirer avantage de l'importante biomasse du sarrasin, on l'enfouit de 4 à 7 semaines après les semis, avant que la grenaison ne commence. On effectue un passage des disques quand 10 % des plants ont fleuri et on laisse sécher la culture à la surface du sol durant quelques jours. Quand les plants commencent à crisser lorsqu'on marche dessus, le moment est venu d'effectuer un passage des disques. Si on laisse la culture atteindre la pleine floraison, il y a risque de repousse l'année suivante. Il est possible de procéder à

Tableau 9–1.
Doses recommandées de phosphate et de potasse pour le sarrasin et le lin, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAARO

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium (ppm)	Cote	Phosphate (P_2O_5)[1] nécessaire (kg/ha)	Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium (ppm)	Cote	Potasse (K_2O)[1] nécessaire (kg/ha)
0–3	BASSE	70	0–15	BASSE	70
4–5		60	16–30		50
6–7		50	31–45		40
8–9		30	46–60		30
10–12	MOYENNE	20	61–80	MOYENNE	20
13–15		20	81–100		20
16–30	HAUTE	0	101–120	HAUTE	0
31–60	TRÈS HAUTE	0	121–250	TRÈS HAUTE	0
61+	EXCESSIVE[1]	0	251+	EXCESSIVE[1]	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Un apport supplémentaire d'éléments nutritifs n'offre pas d'avantage cultural. La cote « excessive » risque même d'abaisser le rendement de la culture ou de nuire à l'équilibre des éléments nutritifs dans la culture. Par exemple, une application supplémentaire de phosphore sur un sol qui, selon l'analyse de sol, renferme déjà plus de 60 ppm de phosphore, pourrait provoquer une carence en zinc là où les concentrations de zinc sont faibles et pourrait même augmenter les risques de lessivage des nitrates vers la nappe phréatique, tandis qu'un apport supplémentaire de potasse sur un champ pour lequel l'analyse de sol révèle déjà une teneur en potassium supérieure à 250 ppm pourrait occasionner une carence en magnésium, là où la concentration en cet élément nutritif est faible.

un deuxième et même à un troisième ensemencement si la saison de production est plus longue.

Fertilité

Le sarrasin présente des besoins de fertilité similaires à ceux de l'avoine. Le tableau 9–1, *Doses recommandées de phosphate et de potasse pour le sarrasin et le lin, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAARO*, ci-dessus, et le tableau 9–2, *Besoins en azote du sarrasin, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAARO*, p. 288, donnent les doses recommandées de phosphate, de potasse et d'azote, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAARO.

Mise en garde : *Le sarrasin est sujet à la verse dans un sol qui contient de hautes teneurs en azote.*

Récolte et entreposage

Récolte

Le sarrasin est une plante indéterminée. Le plant porte les fleurs, les graines vertes et les graines à maturité en même temps. Il faut effectuer la récolte avant que les graines ne soient trop mûres, soit environ 10 semaines après l'ensemencement. La culture est alors encore en croissance et en floraison. Cependant, il faut que de 70 à 75 % des graines soient brunes et parvenues à maturité mais ne pas avoir commencé à tomber de la base de l'épi. Si l'on récolte plus tard, et que les graines les plus près du sol commencent à tomber, on aura des rendements moindres à cause de la chute des graines, en plus de problèmes de repousse dans la culture suivante. Les rendements varient selon la pollinisation et les facteurs météorologiques. Des rendements de 2,2 t/ha (40 bo/ac) sont possibles, bien qu'ils se situent le plus souvent autour de 1,1–1,6 t/ha (20–30 bo/ac).

Tableau 9–2.
Besoins en azote du sarrasin, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAARO

Région de croissance	Dose maximale d'azote pour le sarrasin (kg/ha)
Sud de l'Ontario	35
Nord de l'Ontario	55

L'emploi de dessicants affaiblit la tige et provoque la verse. Il ne faut pas utiliser de dessicants avec le sarrasin. Il faut effectuer l'andainage avant le moissonnage-battage si la culture n'a pas été tuée par le gel. Il vaut mieux procéder à l'andainage tôt le matin lorsqu'il y a encore de la rosée ou par temps humide afin de minimiser les pertes par égrenage. La coupe du sarrasin doit laisser un chaume assez haut afin de faciliter le séchage. On laisse sécher les andains jusqu'à ce que l'épi atteigne une teneur en eau de 16 %.

Pour réduire l'égrenage lors du moissonnage-battage, faire correspondre la vitesse de ramassage à la vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse. Le ramasseur d'andains à toile provoque moins d'égrenage que le ramasseur d'andains à tambour. Pour minimiser le bris, réduire la vitesse du cylindre à un tiers (600–800 tours/min) de celle utilisée pour les céréales et régler le contre-batteur à une ouverture d'environ 13–16 cm (5¼–6½ po) à l'avant et de 9 mm (⅜ po) à l'arrière. Le crible supérieur est réglé à 16 mm (⅝ po) et le crible inférieur à 8 mm (5/16 po). En cas de décorticage de la graine, ouvrir le contre-batteur plus grand ou réduire la vitesse du cylindre inférieur. On peut par la suite ouvrir graduellement le crible inférieur jusqu'à un réglage ne laissant pas passer trop de matière étrangère. Vérifier si le jet d'air est assez puissant pour extraire la quantité maximale de déchet sans toutefois rejeter de graines propres.

Lorsqu'on fait les semis l'été, il faut attendre 7–10 jours après un léger gel d'automne avant le moissonnage-battage. Il faut garder la coupe la plus haute possible et faire avancer la moissonneuse-batteuse à basse vitesse pour éviter de la surcharger. Prendre garde aux quantités de matières grossières qu'on laisse passer afin que seulement un minimum de graines ne pénètrent dans le retour. De cette façon, on réduit les risques de dommage.

Entreposage

Il faut une teneur en eau de moins de 16 % pour un bon entreposage. Comme le marché japonais n'achète que du sarrasin fraichement récolté, ne pas entreposer les graines pour les vendre l'année suivante et ne pas mêler les récoltes des années précédentes avec celles de l'année. Il est facile de distinguer le sarrasin entreposé les années précédentes de celui qui vient tout juste de l'être, par la couleur de la graine sous la coquille. Les graines plus vieilles s'oxydent, et la couleur vert pâle, juste sous la coquille des nouvelles graines, tourne graduellement au brun-rouge durant l'entreposage.

Aliments pour animaux

On peut utiliser la graine de sarrasin dans les aliments pour animaux, en l'incluant de façon limitée dans la ration. La graine de sarrasin peut composer jusqu'à un tiers de la ration alimentaire des bovins de boucherie ou des bovins laitiers. Plus récemment, la recherche sur de nouveaux cultivars de sarrasin destinés à l'alimentation du porc a démontré que le rendement global des porcs d'engraissement et de finition était comparable à celui des porcs nourris avec des céréales. Cependant, le prix du sarrasin en fait un aliment à servir aux animaux moins économique que les céréales.

Mise en garde : *Servir le fourrage, qu'il soit frais ou sec, peut entraîner des effets toxiques. On note comme principal effet toxique une photosensibilité chez les animaux à peau claire (ce qui comprend les bovins, les chèvres, les moutons, les porcs et les dindons) lorsqu'ils sont exposés au soleil. La jaunisse constitue aussi un autre effet secondaire toxique.*

Lutte contre les mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes peut parfois poser problèmes dans les cultures de sarrasin. Elle nécessite une bonne planification, puisque les herbicides sur lesquels on peut compter sont peu nombreux, particulièrement pour lutter contre les dicotylédones. Comme le sarrasin est semé tardivement, on a amplement l'occasion de lutter contre les mauvaises herbes en recourant à des herbicides ou au sarclage avant l'ensemencement. Éviter les herbicides rémanents (c.-à-d. laissant des résidus de triazine, de sulfonylurée et de trifluraline) avant les semis.

Consulter la publication 75F du MAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour plus de renseignements sur les moyens de lutte actuels.

Insectes et maladies

Le sarrasin présente rarement des problèmes liés aux insectes et aux maladies.

Lin

La graine de lin se prête à de multiples usages. De façon traditionnelle, elle entre dans la composition de peintures à l'huile et d'autres revêtements protecteurs. Elle est également utilisée dans la fabrication du linoléum, de l'encre d'imprimerie, de savons, du mastic, de lubrifiants industriels de même qu'un revêtement résistant au sel pour le béton de routes et des trottoirs. La graine de lin contient de 35 à 40 % d'huile de lin. Après extraction de l'huile, le reste du tourteau sert de supplément protéinique pour le bétail, avec une teneur moyenne en protéines d'environ 35 %. L'ajout de lin ou de sous-produits de lin dans une gamme d'aliments a permis une diversification de ce marché.

Ces dernières années, la superficie consacrée à la culture du lin destiné aux marchés du lin de type oléagineux était plutôt limitée en Ontario à cause d'un manque d'installations locales de trituration des graines. Vers 1950, il y avait en Ontario plus de 30 000 ha (74 100 ac) de lin. Ces dix dernières années, cette superficie est tombée à moins de 1 000 ha (2 470 ac). Plus récemment, la promotion des avantages pour la santé de la graine de lin et l'ouverture de marchés d'exportation potentiels pour le lin destiné à l'industrie textile, pourraient justifier le retour de cette culture dans certaines régions de l'Ontario. Pour plus de renseignements sur cette culture au Canada, on peut visiter le site Web du Flax Council of Canada à l'adresse www.flaxcouncil.ca.

À moins qu'il n'en soit précisé autrement, les recommandations données ici se réfèrent au lin de type oléagineux. Les recommandations pour la production du lin destiné à l'industrie textile pourraient être différentes et nécessiter des recherches supplémentaires.

Travail du sol

Le travail du sol selon des méthodes traditionnelles est recommandé. Dans la plupart des cas, il y a travail primaire du sol l'automne, suivi d'un travail au début du printemps et de l'ensemencement. Le travail secondaire doit être peu profond pour établir un lit de semence ferme. On recommande le passage des rouleaux avant ou après les semis. À ce jour, la culture a donné de meilleurs résultats là où il y a peu de résidus de surface. Certains producteurs ont fait l'essai du semis direct et obtenu des résultats assez satisfaisants. On aura recours à des rotations similaires à celles des céréales ou des légumineuses fourragères.

Choix du cultivar

On choisira un cultivar différent selon que l'on cultive du lin pour la production d'huile ou pour l'industrie textile. Jusqu'à maintenant, la seule production commerciale de lin au Canada visait la production d'huile. Les cultivars de lin de type oléagineux sont produits spécifiquement pour l'extraction de l'huile par trituration de la graine.

Le solin est un nouveau cultivar mis au point à partir du lin au moyen de techniques de sélection de pointe. L'huile de solin est à faible teneur d'acide linolénique, soit moins de 5 %, par rapport à une teneur de 50 % dans l'huile de lin, et elle donne une huile légère idéale pour la cuisson. Les normes de la Commission canadienne des grains précisent que les cultivars de solin doivent présenter un tégument jaune.

À l'heure actuelle, les cultivars de lin ne font pas l'objet d'essais officiels en Ontario. Cependant, on peut trouver les résultats d'essais de cultivars de solin et de lin réalisés dans l'Ouest canadien sur le site Web du Flax Council of Canada à l'adresse www.flaxcouncil.ca.

Semis

Les semis de lin se font avec des semoirs similaires à ceux utilisés pour les céréales, en rangs serrés (avec un écartement de 15–20 cm ou 6–8 po). Le semoir à céréales donne généralement une profondeur de semis et une levée plus uniforme que le semis à la volée. Semer à une profondeur optimale de 2,5–4,0 cm (1–1½ po), soit la moitié ou les deux tiers de la profondeur des semis de céréales. Les taux de semis optimaux sont de 35–40 kg/ha (31–45 lb/ac).

Semer le plus tôt possible au printemps sur un lit de semence ferme et sec. Les semis hâtifs sont moins endommagés par les ennemis des cultures et donnent une culture plus facile à récolter. On voudra privilégier les loams bien drainés, les loams limoneux ou les loams argileux. On a remarqué des rendements plus faibles dans des sols sableux, le système racinaire étant sensible à la sécheresse à cause d'une racine pivotante relativement courte. De façon générale, les plantules résistent à un gel moyen.

Croissance de la culture

Le lin est une annuelle pourvue d'une courte racine pivotante à partir de laquelle des racines fasciculées croissent à des profondeurs d'environ 1,2 m (4 pi) dans un sol à texture légère. Le plant atteint une hauteur de 45–91 cm (18–36 po), selon les

conditions de croissance. Dans les peuplements denses, seule une tige principale se développe mais dans les peuplements clairsemés, on peut trouver quatre ramifications et plus. Les fleurs sont blanches, bleues, roses ou violettes, selon le cultivar. Les fleurs s'ouvrent peu après le lever du soleil et tombent avant midi. Le lin fleurit pendant trois semaines et plus s'il dispose d'éléments nutritifs suffisants. Ses fleurs peuvent s'auto-polliniser, mais une pollinisation croisée peut survenir grâce aux insectes. Une capsule de graines donne jusqu'à 10 graines d'une couleur pouvant aller du rouge ou du brun foncé jusqu'au jaune-gris. La graine présente un tissu mucilagineux, d'où sa texture collante lorsqu'elle est humide.

Fertilité

Les doses d'azote recommandées pour le lin sont les mêmes que pour les céréales mélangées (45 kg/ha ou 40 lb/ac pour le sud de l'Ontario et 70 kg/ha ou 62 lb/ac pour le nord de l'Ontario). Trop d'azote peut provoquer la verse. L'analyse de sol reste la meilleure méthode pour déterminer les besoins en éléments fertilisants. Se référer au tableau 9–1, *Doses recommandées de phosphate et de potasse pour le sarrasin et le lin, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO*, p. 287. La graine de lin est facilement brûlée par l'engrais. Tous les éléments fertilisants devraient être épandus à la volée.

Récolte et entreposage

Récolte

Le lin donne habituellement des rendements de 1 200–2 000 kg/ha (1 100–1 800 lb/ac). La récolte de la graine de lin peut être effectuée en coupe directe par moissonnage-battage ou après un andainage préalable. L'andainage effectué avant le moissonnage-battage donne une graine plus sèche que la récolte en coupe directe. L'andainage doit être effectué lorsque environ 90 % des feuilles sont tombées, et que les graines sont devenues brun foncé. La graine de lin ne s'égrène pas aussi facilement que les autres graines. En présence de mauvaises herbes dans la culture, il vaut mieux andainer afin que les mauvaises herbes et la paille puissent sécher avant la récolte. Il faut laisser 15 cm (6 po) de chaume dans le champ pour que les andains ne reposent pas au sol. Dans de bonnes conditions de séchage, la récolte peut être moissonnée trois ou quatre jours après l'andainage.

Garder les barres de coupe et les andaineuses propres et bien affilées pour réduire l'accumulation de lin non mature sur le couteau. Pour éviter que les pièces de coupe ne deviennent collantes, appliquer fréquemment de l'eau ou du kérosène. On effectue le moissonnage-battage du lin lorsque la paille est sèche et que l'on entend les graines s'entrechoquer dans la capsule. Le lin semé hâtivement est plus facile à battre que le lin semé tardivement parce qu'il bénéficie de meilleures conditions de séchage avant d'être récolté. Il faut faire le moissonnage-battage à l'aide de rabatteurs à battes, car les rabatteurs-ramasseurs entraînent des problèmes à l'enroulage.

On recommande généralement de régler la moissonneuse-batteuse en refermant de moitié l'ouverture entre les cylindres et le contre-batteur par rapport à l'ouverture utilisée pour les céréales et de ralentir la rotation du cylindre. Il faut s'assurer de bien boucher les trous dans la cellule de stockage, les vis sans fin et les élévateurs, car la graine de lin est très glissante et peut s'échapper par de petits trous.

En présence de différents degrés de maturité ou de mauvaises herbes au moment de la récolte, on peut pulvériser un dessicant sur la culture. L'emploi d'un dessicant ou le séchage de la culture présente les avantages suivants :

- récolte hâtive;
- élimination de l'andainage;
- réduction du temps de moissonnage-battage;
- usure moindre de la machinerie;
- graine plus propre;
- réduction ou élimination du séchage artificiel.

Le lin auquel on a appliqué un dessicant doit être récolté le plus tôt possible, dès qu'il est prêt, pour éviter l'altération sur pied.

Entreposage

Habituellement, on n'entrepose pas le lin à la ferme; on l'expédie immédiatement après la récolte. La culture doit démontrer une teneur en eau optimale de 10,5 %. Une teneur en eau plus grande entraîne des coûts au titre du séchage et de la perte de masse. L'entreposage adéquat est primordial car le lin peut rapidement se détériorer. Il faut réparer les trous des cellules de stockage puisqu'il peut y avoir des fuites au travers de très petites ouvertures. Il faut enlever les graines pas assez mûres et les graines de mauvaises herbes pour réduire la quantité d'impuretés.

Enlèvement de la paille

La paille des lins de type oléagineux ne convient pas à l'industrie textile à cause des fibres plus courtes de la tige. La paille de lin se décompose lentement dans le sol et peut nuire au travail du sol qui suit la récolte

ou pendant la saison suivante. La paille de lin est parfois utilisée dans les parcs d'engraissement.

Lutte contre les mauvaises herbes

Le lin combat mal les mauvaises herbes. Le lin ne forme pas de couvert dense pouvant ombrager le sol, ce qui laisse la chance aux mauvaises herbes de s'établir. Dans la mesure du possible, le lin devrait être semé dans des champs où il y a relativement peu de mauvaises herbes. Les graines de mauvaises herbes causent des impuretés lors de la récolte des graines de lin et absorbent leur huile.

Pour toutes les recommandations concernant les herbicides, consulter la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Insectes et maladies

Habituellement, les insectes et les maladies ne posent pas de problèmes dans la production du lin.

Tournesol

Le tournesol est cultivé en Ontario depuis plusieurs dizaines d'années. En Ontario, le marché de l'alimentation pour les oiseaux et le marché de la confiserie constituent les principaux débouchés du tournesol. Le tournesol à graines noires et le tournesol rayé servent tous deux à l'alimentation des oiseaux. En Ontario, il n'existe pas de marché d'extraction de l'huile de tournesol. La superficie consacrée à la culture du tournesol en Ontario s'est accrue de 500 à 1 000 ha (1 235 à 2 470 ac) par année depuis les dix dernières années.

Méthode de travail du sol

Le tournesol a besoin d'un lit de semence humide et ferme, sans mauvaises herbes. Un travail traditionnel du sol est généralement utilisé plutôt que le semis direct, car il permet une meilleure lutte contre les mauvaises herbes.

On obtient généralement un meilleur rendement sur des sols de texture moyenne bénéficiant d'un bon drainage naturel : loam, loam limoneux ou loam limono-argileux. Le tournesol pousse également bien dans un sol sableux, quoique le rendement est moindre en temps de sécheresse. Il faut éviter les sols dont le drainage est mauvais, car ils retardent les semis, ralentissent la croissance et présentent un risque plus élevé de maladie.

Choix du cultivar

Aucun essai n'est effectué sur les cultivars de tournesol en Ontario. Des essais sur les cultivars sont effectués par l'intermédiaire de la National Sunflower Association of Canada, C. P. 382, Morden (Manitoba) R6M 1A4.

Il y a le *tournesol de type oléagineux* et le tournesol de confiserie. Le type oléagineux présente une écaille noire et il peut s'agir d'hybrides traditionnels, d'hybrides nains, de cultivars dits « mid-oleic » ou de cultivars à pollinisation libre. Les hybrides nains viennent à maturité de 6 à 13 jours plus tôt que les hybrides traditionnels. Les cultivars de tournesol à pollinisation libre (Sunola) sont plus courts et ont besoin de moins de chaleur pour arriver à maturité que les tournesols ordinaires. Cependant, ils résistent moins bien à la maladie.

Le tournesol non oléagineux possède une écaille rayée et il est destiné à l'alimentation humaine. Seuls les cultivars de tournesol de confiserie ayant les plus grosses graines sont réservés à l'alimentation humaine ; cependant, ces cultivars sont facilement endommagés par les oiseaux ou les insectes.

Les hybrides présentent de nombreux avantages par rapport aux cultivars à pollinisation libre. Les hybrides présentent un rendement supérieur d'environ 20 %, une plus grande résistance à la maladie (surtout au mildiou, à la rouille et à la flétrissure verticillienne) un haut niveau d'auto-compatibilité, ce qui réduit le besoin de pollinisation par les abeilles, en plus d'une hauteur et d'une teneur en eau plus uniformes au moment de la récolte.

Le tournesol est une plante haute ne comportant habituellement qu'une seule tige, à larges feuilles avec un seul capitule par plant. La tige est pubescente et se lignifie à mesure que le plant vieillit. Les plantes sont héliotropiques, c.-à-d. qu'elles font face à l'est le matin et à l'ouest le soir, car elles suivent le soleil durant la journée. Elles sont dotées d'une racine pivotante profonde, qui leur permet de bien supporter les périodes de sécheresse et leur donne accès en couche profonde à un approvisionnement en éléments nutritifs et en eau qui n'est généralement pas disponible pour de nombreuses autres cultures annuelles.

Semis

Le tournesol est généralement semé début mai, comme le maïs, et il fleurit à la fin juillet. Il a besoin d'environ 100–120 jours pour arriver à maturité. Les plantules tolèrent relativement bien le gel jusqu'au

Tableau 9-3.
Doses recommandées de phosphate et de potasse pour les tournesols, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAARO

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium (ppm)	Cote	Phosphate (P_2O_5)[1] nécessaire (kg/ha)	Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium (ppm)	Cote	Potasse (K_2O)[1] nécessaire (kg/ha)
0-3	BASSE	110	0-15	BASSE	170
4-5		100	16-30		160
6-7		90	31-45		140
8-9		70	46-60		110
10-12	MOYENNE	50	61-80	MOYENNE	80
13-15		20	81-100		50
16-30	HAUTE	20	101-120	HAUTE	30
31-60	TRÈS HAUTE	0	121-250	TRÈS HAUTE	0
61+	EXCESSIVE[1]	0	251+	EXCESSIVE[1]	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

[1] Un apport supplémentaire d'éléments nutritifs n'offre pas d'avantage cultural. La cote « excessive » risque même d'abaisser le rendement de la culture ou de nuire à l'équilibre des éléments nutritifs dans la culture. Par exemple, une application supplémentaire de phosphore sur un sol qui, selon l'analyse de sol, renferme déjà plus de 60 ppm de phosphore, pourrait provoquer une carence en zinc là où les concentrations de zinc sont faibles et pourrait même augmenter les risques de lessivage des nitrates vers la nappe phréatique, tandis qu'un apport supplémentaire de potasse sur un champ pour lequel l'analyse de sol révèle déjà une teneur en potassium supérieure à 250 ppm pourrait occasionner une carence en magnésium, là où la concentration en cet élément nutritif est faible.

stade quatre feuilles. Le report des semis après le 15 mai augmente le risque de dommages par le gel avant que le tournesol n'arrive à maturité à l'automne. Pour les semis tardifs, utiliser les hybrides ou les cultivars hâtifs.

Les semis s'effectuent à une profondeur optimale de 3-5 cm (1¼-2 po) et d'au plus 8 cm (3¼ po), en sol humide. Les semis peu profonds conviennent à un sol frais et humide, à texture légère. Dans un sol plus lourd, ou en cas de précipitations abondantes et de grand vent, le tournesol aura tendance à verser.

On recommande un écartement des rangs de 60-90 cm (24-36 po). Utiliser un semoir à maïs avec les réglages appropriés ou un semoir à céréales dont une partie des buses à semence sont bouchées. Les semoirs à céréales donnent en général une moins bonne levée.

On recommande un taux de semis de 40 000-60 000 plants/ha (16 000-24 000 plants/ac). Le tournesol de confiserie ne devrait pas présenter plus de 18 000 plants/acre, en vue d'obtenir des graines plus grosses. Il faut utiliser 25 % plus de semences que le peuplement souhaité. Si l'écartement des rangs est moindre (18-25 cm ou 7-10 po) et que la culture est dense, il y a risque de moisissure blanche avec le climat humide de l'Ontario. On constate moins de verse si les rangs vont d'est en ouest, puisque les plants font face à l'est et s'inclinent vers l'est.

Rotation

Ne pas cultiver le tournesol dans le même champ plus de une fois tous les quatre ou cinq ans, pour éviter l'accumulation de maladies. Le canola, le haricot de grande culture, le soya et le sarrasin peuvent également être atteints de moisissure blanche (*Sclerotinia*); il faut faire une surveillance étroite ou éviter complètement ces rotations.

Dans certaines rotations des cultures, les repousses de tournesol peuvent poser problème. Le tournesol

est sensible à l'atrazine ainsi qu'à la rémanence d'autres herbicides, comme les sulfonylurées (inhibiteurs de l'acétolactate synthase ou ALS), par exemple.

Fertilité

Pour le tournesol, la dose recommandée d'azote est de 90 kg/ha (80 lb/ac). L'azote est mieux absorbé lorsque la plus grande partie de l'engrais azoté est épandue en bandes latérales avant que les plants atteignent une hauteur de 30 cm (12 po). Il faut déterminer les besoins en phosphore et en potasse d'après les résultats d'une analyse de sol (voir la rubrique *Analyse du sol*, on page 33). Consulter le tableau 9–3, *Doses recommandées de phosphate et de potasse pour les tournesols, selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO*, p. 292.

Récolte et entreposage

Récolte

Habituellement, les rendements de tournesol en Ontario fluctuent de 1 500 à 2 000 kg/ha (1 300 à 1 800 lb/ac). Les plants sont prêts lorsque l'arrière du capitule vire au jaune, et que les bractées sont brunes, dures et sèches. À ce stade, les graines présentent une teneur en eau d'environ 50 %. La récolte s'effectue normalement de septembre à la mi-octobre.

En Ontario, si une récolte est tardive, le séchage est favorisé par le gel. L'usage d'un dessicant n'est pas nécessaire. Cependant, un gel hâtif peut nuire au rendement et réduire la teneur en huile. Pour éviter cet inconvénient, il faut récolter au moment où les graines présentent une teneur élevée en eau et les faire sécher pour réduire les pertes occasionnées par l'égrenage et la présence des oiseaux. Il faut raccourcir le délai entre l'arrivée à maturité et la récolte pour soustraire la culture aux oiseaux et éviter la pourriture du capitule.

La récolte du tournesol s'effectue à la moissonneuse-batteuse munie d'une tête pour petites céréales. La plupart des moissonneuses-batteuses sont munies de longs plateaux s'étendant à l'avant de la barre de coupe destinés à récupérer les graines issues de l'égrenage. Pour la récolte du tournesol, on enlève généralement le rabatteur ou on le dispose plus haut. Pour ne pas endommager les graines, régler la vitesse de rotation du cylindre au plus lent avec les plus grandes ouvertures. Réduire le débit d'air afin d'éviter de souffler les graines vers l'arrière.

Entreposage

Après la récolte, nettoyer les graines pour enlever les impuretés. Pour un bon entreposage, les graines doivent présenter une teneur en eau de 10 % et moins. Immédiatement après la récolte, il faut assécher les graines renfermant davantage d'eau. Le tournesol s'assèche facilement dans des séchoirs à céréales traditionnels. Le tournesol de confiserie peut subir une perte de masse ou brûler. Laisser refroidir avant d'entreposer.

Mise en garde : *Il faut sécher les graines à basse température car les fibres et les poils fins de l'écorce de la graine pourraient s'enflammer en contact avec le ventilateur.*

Habituellement, le contenu d'une cellule de stockage remplie de graines de tournesol aura un poids équivalent à 70 % de celui de la même cellule remplie de maïs. Les graines peuvent être entreposées pour de courtes périodes avec une teneur en eau entre 8,5 et 12 %. Des graines tièdes ou dont la teneur en eau est plus élevée pourraient se détériorer.

Lutte contre les mauvaises herbes

Les plantules de tournesol peuvent souffrir de la concurrence exercée par les mauvaises herbes. Si les mauvaises herbes ne sont pas maîtrisées tôt en saison, le rendement de la culture en souffrira. À mesure qu'il vient à maturité, le tournesol est plus en mesure de lutter contre les mauvaises herbes.

On peut procéder au hersage avant la levée des plantules pour éliminer les mauvaises herbes avant qu'elles ne s'établissent. Un hersage léger à l'aide d'une herse à dents flexibles peut être effectué sur les plantules de tournesol entre les stades à quatre et à six feuilles pour éliminer les mauvaises herbes tardives. Le hersage donne de meilleurs résultats par temps chaud et sec, car il évite ainsi d'endommager la culture. Le sarclage des entre-rangs est aussi recommandé.

Pour connaître les recommandations concernant les herbicides, consulter la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaise herbes*.

Insectes

Le tournesol ne présente généralement pas de problèmes liés aux insectes.

Maladie

Moisissure blanche (Sclerotinia)

Dans la production de tournesol, cette maladie aussi appelée sclérotiniose ou pourriture sclérotique, cause la pourriture du collet de la tige, des infections de la partie moyenne de la tige et la pourriture du capitule. Elle nuit grandement à la production (voir planche 147, p. 348). Le pathogène peut survivre pendant de longues périodes dans le sol. Il ne faut donc pas semer de tournesol en rotation avec des cultures sensibles, surtout quand les autres cultures présentent des symptômes.

10. Gestion des grains entreposés

Maintenir les grains entreposés dans de bonnes conditions exige des inspections périodiques minutieuses et de bonnes pratiques d'entreposage. Or, les bonnes pratiques d'entreposage ne se limitent pas à mettre des grains de bonne qualité dans un conteneur à l'épreuve des intempéries.

Entreposage des grains dans des cellules de stockage

La qualité des grains ne peut être meilleure qu'au moment où ceux-ci sont mis en entrepôt. Elle ne peut en effet que diminuer au fil du temps. Toute amélioration de la qualité étant plutôt improbable, le but recherché est donc de maintenir la qualité des grains au même niveau que lors de leur mise en cellule de stockage.

Suggestions pour une bonne gestion des cellules de stockage

- Traiter les cellules de stockage vides, afin de détruire les ravageurs des grains entreposés qui vivent dans les lézardes, les fissures ou sous le faux fond perforé.
- Nettoyer tout le grain qui sera entreposé dans une cellule de stockage.
- Enlever les particules fines et autres matières étrangères pour diminuer la résistance au passage de l'air et éventuellement réduire les risques de détérioration.
- Une fois la cellule de stockage remplie, retirer un peu de grain du noyau de la cellule de stockage (en actionnant la vis de déchargement), de manière à créer un couloir vertical de chute, afin de mieux répartir les particules fines, quitte à remettre par la suite le grain retiré à la surface de la même cellule.
- Dans la chambre de répartition d'air, installer un manomètre sous le faux fond perforé pour surveiller la pression statique de l'air déplacé par le ventilateur. Pour savoir comment fabriquer un manomètre, voir l'annexe I, *Manomètre de fabrication artisanale*, p. 312.
- À partir de la courbe de rendement du ventilateur, se servir de la pression statique pour déterminer le débit d'air du ventilateur.
- Bien couvrir les prises d'air de ventilation lorsque celles-ci ne sont pas utilisées, afin d'éviter tout déplacement d'air involontaire dans le grain.

Pourquoi aérer les grains entreposés dans les cellules de stockage

L'aération des grains entreposés dans une cellule de stockage :

- retire la chaleur de récolte ou refroidit les grains à la sortie du séchoir;
- amène la masse de grains à une température uniforme;
- évacue l'humidité qui s'est évaporée du grain sous l'effet des fluctuations de températures attribuables à l'air extérieur.

Au fur et à mesure que les surfaces de la cellule de stockage sont réchauffées ou refroidies par le soleil ou l'air extérieur, des courants de convection se forment dans la masse de grains. Ces courants ont pour effet de déplacer et de condenser l'humidité contenue dans les grains sur les surfaces plus froides. Il peut s'agir des surfaces intérieures de la cellule de stockage ou des grains eux-mêmes. Ceux-ci risquent alors de se détériorer si les courants de convection ne sont pas stoppés. L'aération périodique du contenu de la cellule de stockage empêche la formation de courants de convection.

Garder un écart de température d'au plus 5 °C entre la masse de grains et la température de l'air moyenne à l'extérieur, afin d'empêcher la formation de courants de convection.

Principes d'aération

- Amener toute la masse de grains à la même température.
- Mettre le ventilateur en marche seulement lorsque le taux d'humidité relative n'entraînera pas une augmentation de la teneur en eau des grains.
- Faire fonctionner le ventilateur pendant suffisamment d'heures pour changer la température de toute la masse de grains, ce qui peut nécessiter un certain nombre de jours.

- Se familiariser avec les tableaux de teneur en eau d'équilibre relatifs aux grains ou aux haricots entreposés (voir la rubrique *Récolte et entreposage* dans le chapitre consacré à la culture pertinente). Faire fonctionner le ventilateur seulement lorsque les conditions atmosphériques extérieures n'ajouteront pas d'humidité au produit entreposé. La nuit, le taux d'humidité relative de l'air risque d'ajouter de l'humidité aux petites céréales, aux haricots et au maïs séché à l'air ambiant.
- Voir le tableau 10–1, *Temps requis pour que le front d'aération atteigne la surface du grain*,ci-contre, pour mesurer le temps d'aération nécessaire à un changement de température dans toute la cellule de stockage.

Vérification des grains entreposés

Si des grains sont entreposés à la ferme, vérifier les cellules de stockage périodiquement.

Vérifier l'état des grains de provende d'usage courant qui se trouvent dans des cellules de stockage au fur et à mesure de leur utilisation. Prendre soin de vérifier également l'état des grains dans les cellules de stockage qui servent moins souvent. Les grains peuvent se détériorer rapidement. Une vérification minutieuse et soignée des cellules de stockage permet aux producteurs de détecter les signes avant-coureurs de problèmes éventuels et de prendre les mesures qui s'imposent pour freiner toute détérioration.

Liste de vérification mensuelle des cellules de stockage

- Mettre le ventilateur en marche.
- Grimper et regarder à l'intérieur de la cellule de stockage. Chercher des signes d'humidité sur la paroi intérieure du toit. S'il y a présence de gouttelettes d'eau ou de glace, aérer la cellule de stockage; l'humidité provenant des grains est montée dans le haut de la cellule et s'est condensée sur la paroi de métal.
- Faire fonctionner le ventilateur d'aération si une fine pellicule de neige s'est déposée à la surface du grain. Elle se transformera par sublimation en vapeur d'eau inoffensive. Si la couche de neige est beaucoup plus épaisse, l'enlever à la pelle.
- Chercher des odeurs atypiques. L'air doit sentir le grain propre.
- S'assurer que la surface du grain a le même aspect que lors de la dernière inspection. Si elle est décolorée ou de couleur atypique, fouiller le problème plus à fond.

Tableau 10–1.
Temps requis pour que le front d'aération atteigne la surface du grain

Débit d'air (pi^3/min/bo)	Refroidissement (heures)		
	Automne	Hiver	Printemps
1/20	300	400	240
1/10	150	200	120
1/5	75	100	60
1/4	60	80	48
1/3	45	61	36
1/2	30	40	24
3/4	20	27	16
1	15	20	12

pi^3/min = pied cube par minute; 1 pi^3/min/bo = 13 L/sec/m^3

- Vérifier s'il y a eu depuis le mois précédent un changement de pression statique ou de pression de fonctionnement du ventilateur dans la chambre de répartition d'air qui se trouve sous le faux fond perforé. S'il y a diminution de pression, il n'y a pas lieu de s'inquiéter. Une augmentation, cependant, indique que quelque chose a fait augmenter la résistance au passage de l'air qui traverse la masse de grains. Examiner l'état du grain.
- Rechercher tout signe révélateur de la présence d'insectes.
- Noter les observations dans un registre de surveillance, afin de pouvoir établir des comparaisons d'un mois à l'autre.

Gestion des insectes des grains entreposés à la ferme

La maîtrise des insectes des grains entreposés passe par la prévention que rendent possible de bonnes pratiques d'assainissement et d'entreposage.

Pour prévenir les infestations et avoir à recourir le moins possible aux traitements d'urgence par fumigation, observer les consignes que voici :

Garder les lieux propres

La consigne la plus importante est de garder les lieux exempts d'insectes en nettoyant les cellules de stockage et le matériel avant d'entreposer les grains. Les résidus de grains des récoltes précédentes sont la principale source de nouvelles infestations. Au moins 2 semaines avant l'entreposage des grains, s'assurer

que les lieux sont nettoyés à fond et sont exempts de ravageurs. Pour ce faire, enlever tout résidu de grains de même que le grain pris en pain, à l'aide d'un bon aspirateur. S'assurer qu'il n'y a plus de vieux grain dans les lézardes et fissures de la cellule de stockage, derrière les cloisons, entre les doubles parois, à l'extérieur et sous les cellules de stockage, dans le matériel servant à manipuler le grain, dans les canalisations d'aération ni sous les faux fonds perforés. Les résidus de récolte collés au matériel servant à manipuler ou à récolter les grains sont une source très importante de nouvelles infestations. Comme les faux fonds entièrement perforés ne peuvent être soulevés pour être nettoyés, des particules de grains s'y accumulent et ouvrent la porte à des infestations.

Débarrasser le sol du grain tombé et des aliments pour animaux. Brûler les résidus de grains enlevés, les apporter dans une décharge ou les broyer pour les servir aux animaux. Comme les salles de préparation des aliments sont difficiles à garder exemptes de ravageurs, maintenir une bonne distance entre elles et les cellules de stockage, à défaut de quoi, les ravageurs risqueraient d'envahir rapidement les installations d'entreposage situées à proximité.

Ne pas entreposer les grains dans des bâtiments qui abritent des animaux ou du foin. Les mangeoires, les trémies et les auges sont souvent infestées d'insectes, car les insectes y sont plus au chaud et les utilisent comme sites d'hivernation.

Maintenir les installations d'entreposage en bon état

Une fois les installations nettoyées, faire les réparations nécessaires pour qu'elles soient à l'épreuve des ravageurs. Sceller les lézardes et les fissures dans lesquelles les insectes pourraient s'introduire.

Entreposer des grains propres et secs

Ne jamais entreposer le nouveau grain avec le vieux, sous peine de voir les ravageurs du vieux grain s'attaquer au nouveau. S'assurer que le grain stocké est exempt de ravageurs. Les moisissures et les insectes font beaucoup plus de ravages dans les grains humides. Si les grains entreposés contiennent plus de 15 % d'humidité, les vérifier périodiquement. Le blé doit être séché jusqu'à ce qu'il atteigne une teneur en eau de 12 % s'il doit être entreposé pendant plus d'un mois durant les mois chauds de l'été. Le maïs doit être séché jusqu'à ce qu'il atteigne une teneur en eau de 14 %.

Bien surveiller la température d'entreposage et faire le dépistage des insectes

Le blé est la culture la plus sensible aux infestations parce qu'il est récolté l'été, période où les insectes sont les plus actifs à l'intérieur et à l'extérieur des lieux d'entreposage. Une fois dans la cellule de stockage, le grain est encore chaud et peut fournir un excellent habitat aux insectes des grains entreposés. En Ontario, comme l'entreposage du maïs suit habituellement l'entreposage du blé, les infestations peuvent facilement se répandre du blé au maïs. Surveiller la température des grains en insérant des sondes de température en divers points de la masse de grains. Les zones chaudes sont souvent un indice d'infestations et/ou de détérioration.

L'aération utilisée à l'automne dans le but de refroidir les grains atténue les infestations par les insectes et ralentit leur reproduction. Les insectes ne se reproduisent pas dans les grains à des températures au-dessous de 10 °C (50 °F) et peuvent mourir si les températures sont maintenues sous les –10 °C (14 °F) pendant plus de 10 jours. Le dépistage du cucujide roux et de la pyrale indienne de la farine peut se faire à l'aide de pièges-sondes en plastique (voir planche 148, p. 348). Ces pièges-sondes sont très sensibles et indiqueront une infestation bien avant qu'elle n'atteigne le seuil de nuisibilité économique. Si des cucujides roux ou des pyrales indiennes de la farine sont trouvés dans les grains, procéder à la fumigation.

Traiter les cellules vides à la terre à diatomées

La terre à diatomées est une poudre non toxique, faite d'un mélange de silice, produite à partir de dépôts fossiles d'algues marines appelées diatomées. Lorsque la terre à diatomées entre en contact avec les insectes, elle absorbe la couche cireuse protectrice de l'insecte, entraînant sa mort par déshydratation. À l'aide des ventilateurs d'aération, disperser le produit dans la cellule de stockage vide, au moins 2 semaines avant l'entreposage des grains. Appliquer aussi le produit sur les grains, au fur et à mesure que ceux-ci sont transvidés dans la cellule ou dans l'installation d'entreposage. Porter un masque de protection lors de l'application de la terre à diatomées afin de ne pas inhaler la poussière. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour les détails sur le mode d'emploi et l'information portée par l'étiquette.

L'usage préventif d'insecticides ne remplace pas de bonnes pratiques d'assainissement des entrepôts.

Si les parois de la cellule de stockage sont poussiéreuses ou couvertes de grains pris en pain, la poudre n'atteindra pas tous les insectes rampants et ne pourra donc pas les tuer. L'utilisation de Malathion n'est plus recommandée pour maîtriser la pyrale indienne de la farine, étant donné que cet insecte a développé une résistance à ce produit, qui s'avère donc souvent inefficace.

Utiliser des traitements de sauvetage au besoin

Si une infestation survient, il peut être nécessaire de recourir à la fumigation. Le fait de brasser le grain peut réduire une infestation par un ravageur secondaire sous le seuil de nuisibilité économique. Cependant, si des cucujides roux ou des pyrales indiennes de la farine sont visibles, le problème est grave. S'il y a des toiles à la surface du grain, râteler et enlever cette couche avant la fumigation. Pour plus de détails sur les fumigants, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Les fumigants ne peuvent être appliqués que par le détenteur d'une licence de destruction de parasites. Éloigner les animaux d'élevage et la volaille du bâtiment, surtout si ceux-ci se trouvent sous la cellule de stockage.

Identifier les ravageurs correctement

Les insectes des grains entreposés ne sont pas des ennemis spécifiques de certaines cultures. Ils peuvent s'attaquer à plusieurs cultures. Il est important de savoir à quels insectes nuisibles on a affaire. Il est donc important de les identifier et d'en évaluer les populations avec soin, car les stratégies de lutte peuvent varier selon l'ennemi à combattre. Une identification correcte aide aussi à déterminer la source de l'infestation. Certains insectes ne sont que des ennemis secondaires qui peuvent ne pas causer de pertes économiques.

Insectes des grains entreposés

Technique de dépistage des insectes des grains entreposés

Insérer dans la masse de grains quatre pièges-sondes en plastique (voir planche 148, p. 348) à mi-chemin entre le centre et la paroi de la cellule de stockage, en forme de croix, avec le centre de la cellule comme point central de la croix. Placer les pièges à environ 5 cm (2 po) sous la surface du grain. Les retirer et les examiner au moins une fois par mois. Ces pièges-sondes sont très sensibles et indiqueront une infestation bien avant qu'elle n'atteigne le seuil de nuisibilité économique. Si des insectes se trouvent dans les pièges-sondes, appliquer les stratégies de lutte indiquées au tableau 10–2, *Stratégies de lutte contre les insectes nuisibles des grains entreposés à la ferme*, p. 299.

Tableau 10–2.
Stratégies de lutte contre les insectes nuisibles des grains entreposés à la ferme

Description	Cycle biologique	Dommages	Stratégies de lutte
Cucujide roux – voir planche 149, p. 348.			
• coléoptère aplati, brun rougeâtre; • mesurant environ 2 mm (1/16 po) de long; • antennes aussi longues sinon plus longues que la tête et le thorax réunis; • vole quand les températures montent à plus de 25 °C (77 °F); • larves blanches d'environ 3 mm (1/8 po) de long, pourvues de deux projections brunes à l'arrière; • par sa petite taille, peut envahir toute la masse de grains.	• résistant au froid; • hiverne au stade adulte; • pond jusqu'à 500 oeufs à la surface des grains; • les larves éclosent après 3–5 jours; • la pupaison se produit à l'intérieur du grain que la larve pénètre; • l'adulte émerge, laissant un trou de sortie caractéristique.	• adultes et larves se nourrissent du germe et du son; • attaquent le grain brisé comme le grain sain; • se dispersent dans toute la masse de grains; • les fortes infestations amènent l'échauffement du grain qui moisit et se gâte.	• observer de bonnes pratiques d'assainissement et de dépistage; • employer la terre à diatomées pour préserver le grain d'une nouvelle infestation; • consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour de l'information sur les insecticides et les fumigants.
Pyrale indienne de la farine – voir planche 150, p. 348.			
• l'**adulte** mesure environ 12 mm (1/2 po) de long; • corps en forme de « A » quand les ailes sont au repos; • ailes grises à l'avant, bronze à l'arrière; • active le soir; • les larves atteignent environ 8 mm (5/8 po) de long; • les **larves** sont crème rosâtre, jaune pâle, ou vert pâle tirant sur le jaune avec la tête noire; • les larves ont trois paires de pattes thoraciques et cinq paires de fausses pattes abdominales; • les larves à maturité errent à la recherche d'un site de pupaison.	• par temps doux, met environ 21–30 jours à compléter son cycle biologique; • n'est pas tolérante au froid; • la température limite le nombre de générations par année; • les femelles pondent leurs oeufs sur les grains de céréales se trouvant à la surface du tas de grains; • on trouve les jeunes larves dans des mottes de grains (3–10 grains) retenus ensemble par des fils de soie.	• les adultes ne s'alimentent pas et ne causent pas de dommages; • les larves se nourrissent du germe et du son, et en vident les grains; • les individus de tous les stades larvaires tissent des toiles (cette activité s'intensifie à l'approche de la pupaison); • se trouvent généralement à la surface du grain, tout au plus dans les 50 premiers cm (20 po); • de fortes populations produisent un matelas de grains enchevêtrés de toiles jusqu'à une profondeur de 50 cm (20 po).	• l'adulte est résistant au Malathion; • enlever la couche de grains remplie de toiles avant la fumigation; • consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour de l'information sur les insecticides et les fumigants.

GESTION DES GRAINS ENTREPOSÉS

INSECTES DES GRAINS ENTREPOSÉS

Tableau 10–2.
Stratégies de lutte contre les insectes nuisibles des grains entreposés à la ferme (suite)

Description	Cycle biologique	Dommages	Stratégies de lutte
Charançon du blé – voir planche 151, p. 348. • l'adulte est un charançon brun foncé; • mesure environ 4 mm (5/16 po) de long; • la larve, de 4 mm (5/16 po) de long, est blanche, ridée et dépourvue d'ailes; • ses larves se trouvent toujours à l'intérieur des grains qu'elles ne quittent qu'au stade adulte; • n'attaque que les grains de céréales, pas les légumineuses; • ne peut voler; • semblable au charançon du riz; s'en distingue par les petits trous sur le thorax qui sont ovales plutôt que ronds et sa plus grande résistance au froid.	• les femelles pondent des oeufs dans des trous qu'elles creusent dans les grains à l'aide de leur rostre; • cimente le trou pour le fermer; • les larves se développent à l'intérieur du grain; • les adultes vivent jusqu'à 8 mois.	• adultes et larves se nourrissent de grains sains; • la larve passe toute sa vie à l'intérieur d'un seul grain dont elle dévore l'endosperme; • plusieurs larves peuvent se trouver à l'intérieur du même grain; • en sortant, l'adulte laisse un trou de sortie rond dans le grain.	• consulter la publication 812F du MAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour de l'information sur les insecticides et les fumigants.
Bruches du pois et du haricot • deux espèces qui s'attaquent aux pois et aux haricots; • dommages et larves semblables à ceux du charançon du blé; • adultes petits et massifs (3–4 mm ou 1/8–3/16 po); • tête fuselée à l'avant; • habituellement de couleur chamois avec rayures longitudinales peu apparentes; • larves de couleur jaune crème, apodes, à la capsule céphalique cuivrée.		• les bruches du pois s'attaquent aux pois et les bruches du haricot, aux haricots; • les adultes pondent leurs oeufs au champ dans les haricots à maturité sans laisser de traces visibles; • les dommages apparaissent lorsque les adultes émergent des grains et laissent derrière eux des trous ronds.	• faire le dépistage des bruches dans les haricots entreposés; • réagir à leur présence par une fumigation; • trier visuellement les haricots pour enlever ceux qui sont piqués; • les pois ou haricots lourdement infestés peuvent être servis aux animaux; • consulter la publication 812F du MAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour de l'information sur les insecticides et les fumigants.

Tableau 10–2.
Stratégies de lutte contre les insectes nuisibles des grains entreposés à la ferme (suite)

Description	Cycle biologique	Dommages	Stratégies de lutte
Petit perceur des céréales – voir planche 152, p. 348.			
• l'**adulte** est un coléoptère de brun à noir; • mesure environ 2 mm (1/16 po) de long; • corps cylindrique; • nombreux petits trous à la surface des ailes; • position de la tête de l'adulte caractéristique; • tête inclinée vers le bas et recouverte d'un large bouclier prothoracique; • larves blanc crème, en forme de « C », dont la tête sombre est enfoncée dans le thorax; • ce ravageur dégage une odeur de moisi.	• les femelles pondent leurs oeufs par grappes à la surface des grains; • les larves éclosent et creusent des trous dans les grains; • complète son cycle biologique à l'intérieur du grain.	• risque de migrer en Ontario à cause du réchauffement climatique; • adultes et larves dévorent les grains sains; • percent des trous aux contours irréguliers dans les grains; • ne laissent derrière eux qu'une coquille vide et une poussière poudreuse; • chaque adulte et chaque larve dévore plusieurs grains; • plusieurs individus peuvent s'attaquer au même grain; • se nourrissent aussi de poussière de grains.	• signaler la présence de ce ravageur à l'entomologiste provincial spécialisé dans les grandes cultures; • consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour de l'information sur les insecticides et les fumigants.
Psoque			
• aussi appelé pou des livres et du papier (famille des psocoptères); • l'**adulte** a le corps mou; • mesure environ 1–2 mm (1/32-1/16 po) de long; • sa tête est grosse et ses antennes longues; • va du brun au blanc et est souvent opaque; • peut être ailé ou non; • ressemble à un puceron; • les jeunes sont plus petits et légèrement plus pâles que les adultes.	• C'est un insecte hémimétabole, c.-à-d. qu'il subit une métamorphose incomplète, de telle sorte que les nymphes ressemblent aux adultes; • plusieurs générations; • peut se multiplier rapidement si le temps est doux.	• n'est pas un ennemi primaire du grain; • c'est un ravageur secondaire qui se nourrit de poussière de grains et de grains endommagés; • s'ils pullulent, on les voit courir sur le tas de grains – inspecter visuellement la surface du grain à la recherche d'insectes minuscules se déplaçant rapidement; • ne se trouvent généralement qu'à la surface du tas de grains.	• le fait de brosser et de nettoyer le grain réduit les populations; • se trouvent dans des lieux humides; • l'abaissement du taux d'humidité fait diminuer les populations; • consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour de l'information sur les insecticides et les fumigants.

Tableau 10–2.
Stratégies de lutte contre les insectes nuisibles des grains entreposés à la ferme (suite)

Description	Cycle biologique	Dommages	Stratégies de lutte
Acariens			
• les **adultes** sont à peine visibles à l'oeil nu; • mesurent environ 0,5 mm (1/64 po) de long; • sont ronds; • ont huit pattes; • sont brun jaunâtre; • les **larves** ressemblent aux adultes, mais n'ont que six pattes; • deux stades nymphaux ont quatre paires de pattes, ce qui les fait ressembler aux adultes.		• ravageur secondaire du grain en cours de détérioration; • préfère le grain humide; • se nourrit de poussière de grains et de moisissures.	• garder le grain sec et en bon état; • consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour de l'information sur les insecticides et les fumigants.

11. Annexes

Annexe A.
Fournisseurs de matériel pour le dépistage d'insectes

BioQuip Products
17803 LaSalle Avenue
Gardena CA
U.S. 90248-3602

tél. : (310) 324-0620
téléc. : (310) 324-7931
site Web : www.bioquip.com

Gempler's Inc.
100 Countryside Dr.
P.O. Box 270
Belleville WI
U.S. 53508

tél. : (800) 382-8473
téléc. : (800) 551-1128
site Web : www.gemplers.com/

Great Lakes IPM
10220 Church Road, NE
Vestaburg MI
U.S. 48891

tél. : (517) 268-5693
téléc. : (517) 268-5311
site Web : www.greatlakesipm.cpm/

Québec Insectes (Atelier Jean Paquet)
3, rue du Côteau
C.P. 953
Pont-Rouge (Québec)
Canada G3H 2E1

tél. : (418) 873-2984
site Web : www.quebecinsectes.com/pages/francais

Nota : La présentation de la liste de fournisseurs ci-dessus n'implique aucunement que le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario approuve ou recommande les produits spécifiques vendus par ces entreprises.

Annexe B.
Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario

Les laboratoires ci-dessous sont accrédités pour effectuer les analyses de sol portant sur le pH, le pouvoir tampon, P, K, Mg et l'azote nitrique dans les sols de l'Ontario.

Nom du laboratoire	Adresse	Tél./téléc./courriel	Personnes-ressources
A & L Canada Laboratories East, Inc. site Web : www.al-labs-can.com	2136, ch. Jetstream LONDON (Ontario) N5V 3P5	tél. : (519) 457-2575 téléc. : (519) 457-2664 courriel : aginfo@al-labs-can.com	M. Greg Patterson M. Ian McLachlin
Accutest Laboratories site Web : www.accutestlabs.com	146, ch. Colonnade, Unité 8 NEPEAN (Ontario) K2E 7Y1	tél. : (613) 727-5692 téléc. : (613) 727-5222 courriel : phaulena@accutestlabs.com	M[me] Lorna Wilson M. Peter Haulena
Agri-Food Laboratories site Web : www.agtest.com	503, ch. Imperial, Unité 1 GUELPH (Ontario) N1H 6T9	tél. : (519) 837-1600 1 800 265-7175 téléc. : (519) 837-1242 courriel : lab@agtest.com	M. Dale Cowan M[me] Nora Wilson
Laboratoire du sol et des éléments nutritifs [1]	Université de Guelph C.P. 3650 95, ch. Stone Ouest GUELPH (Ontario) N1H 8J7	tél : (519) 767-6226 téléc. : (519) 767-6240 courriel : info@lsd.uoguelph.ca	M[me] Virginia Kerslake
Stratford Agri Analysis Inc. (Une entreprise Daco Laboratories Ltd.)	1131, rue Erie C.P. 760 STRATFORD (Ontario) N5A 6W1	tél. : (519) 273-4411 1 800 323-9089 téléc. : (519) 273-4411 courriel : info@stratfordagri.com	M. Dale Peters M. Gary Roberts M. Keith Lemp D[r] Jim Brimner

Il n'existe aucune accréditation officielle pour l'analyse de tissus végétaux en Ontario, mais tous les laboratoires accrédités pour les analyses de sol ont démontré leur expertise à effectuer des analyses de tissus.

[1] Anciennement Analytical Services, Land Resource Science

Annexe C.
Indice de phosphore

L'indice de phosphore évalue les risques d'érosion et détermine les doses de phosphore de toutes sources ainsi que les règles à respecter pour la mise en place de ce phosphore. Il révèle les risques de déplacement du phosphore hors de la zone traitée, tandis que la proximité à un cours d'eau détermine le risque que ce déplacement du phosphore provoque en fait la contamination des eaux de surface. Le calcul de l'indice de phosphore débouche sur la détermination des restrictions applicables aux doses en fonction de différentes distances par rapport aux cours d'eau. Les tableaux A à E, ci-dessous, fournissent les données nécessaires au calcul de l'indice de phosphore.

Évaluation par l'indice de phosphore des risques de contamination des eaux de surface

Donnée tirée du tableau A		Donnée tirée du tableau B		Donnée tirée du tableau C		Donnée tirée du tableau D		Donnée tirée du tableau E		Indice de phosphore
	+		+		+		+		=	

Exemple de calcul

Donnée tirée du tableau A		Donnée tirée du tableau B		Donnée tirée du tableau C		Donnée tirée du tableau D		Donnée tirée du tableau E		Indice de phosphore
maïs en semis direct semé sur une pente de 3 %		loam argileux sur une pente de 3 %		teneur du sol en P de 35 ppm		10 kg/ha (9 lb/ac), incorporés à l'aide du semoir		143 kg de P_2O_5/ha (128 lb/ac) contenu dans le fumier et incorporé en moins de 3 jours		
2	+	4	+	8	+	2,5	+	7	=	23,5

Tableau A. Coefficient d'érosion du sol[1]

Pente à moins de 150 m (500 pi) d'un cours d'eau	Longueur de la pente en m (pi)	Foin	Autres cultures			
			Dans le sens de la pente		À contre-pente	
			Labour	Semis direct	Labour	Semis direct
Inexistante (< 0,5 %)	Toute	2	4	2	4	2
Douce (0,5 %–2 %)	Courte : 60 m (200 pi)	2	4	2	4	2
Douce (0,5 %–2 %)	Longue : 480 m (1 600 pi)	2	16	4	16	2
Moyenne (2 %–5 %)	Courte : 60 m (200 pi)	2	16	2	8	2
Moyenne (2 %–5 %)	Longue : 480 m (1 600 pi)	2	16	8	16	4
Abrupte (> 5 %)	Courte : 60 m (200 pi)	2	16	4	16	4
Abrupte (> 5 %)	Longue : 480 m (1 600 pi)	2	16	16	16	16

[1] Note : Les coefficients indiqués correspondent au pire des cas où du soya est cultivé sur un sable très fin dans une zone de fortes précipitations. Pour obtenir des résultats plus précis à l'aide de l'équation universelle des pertes en terre, utiliser le programme informatisé de gestion des éléments nutritifs NMAN.

Tableau B. Coefficient de ruissellement

Pente	Texture du sol			
	Sable	Loam	Loam argileux	Argile
Inexistante (1 %)	1	1	2	4
Douce (3 %)	1	2	4	8
Moyenne (5 %)	1	2	4	8
Abrupte (8 %)	2	4	8	8

Tableau C. Coefficient de teneur du sol en phosphore (P)

Teneur du sol en P	Coefficient
< 15 ppm	2
15–30 ppm	4
31–60 ppm	8
61–100 ppm	16
> 100 ppm	32

Tableau D. Coefficient de teneur de l'engrais en P_2O_5

Dose (ligne K) kg/ha (lb/ac)	Méthode			
	Incorporé à l'aide du semoir	Incorporé en moins de 2 semaines	Incorporé après 2 semaines	Non incorporé
Néant	0	0	0	0
< 50 (< 45)	2,5	4	7	13
50–75 (45–67)	3,5	5	8	14
> 75 (> 67)	5,5	7	10	16

Une fois que l'indice de phosphore est établi, il est possible de déterminer les restrictions à observer en ce qui a trait aux doses et à la mise en place du phosphore. Comme la grande crainte est la pollution des eaux de surface par le phosphore, plus l'indice de phosphore est élevé, plus il faut laisser d'écart entre les eaux de surface et l'endroit où l'on fait l'épandage du fumier ou l'application en pleine surface de l'engrais, et plus il faut élargir la zone où les apports sont limités aux quantités que la culture peut prélever. Les restrictions applicables aux doses sont énoncées dans le tableau F, à droite.

Tableau E. Coefficient de teneur du fumier en P_2O_5

Dose (ligne C) kg/ha (lb/ac)	Méthode			
	Injecté	Incorporé en moins de 5 jours	Non incorporé – Résidus de culture	Non incorporé – Sol nu
Néant	0	0	0	0
< 37 (< 33)	2,5	4	7	13
37–57 (33–54)	3,5	5	8	14
> 57 (> 54)	5,5	7	10	16

Tableau F. Restrictions relatives aux applications selon l'indice de phosphore

Indice de P	Distance à observer			
	< 3 m (< 10 pi)	3–30 m (10–100 pi)	30–60 m (100–200 pi)	> 60m (> 200 pi)
< 30		***Prudence!***	Aucune autre restriction du fait de l'indice de phosphore	
30–50		N'appliquer le P_2O_5 que jusqu'à concurrence de la quantité prélevée par la culture (ligne M = 0)		30–50
> 50	***STOP!***	Aucune application		

Source : *Les pratiques de gestion optimales – Gestion des éléments nutritifs.*

Nota : Pour un exposé plus détaillé sur l'indice de phosphore, se référer au programme informatisé de gestion des éléments nutritifs NMAN ou à la fiche technique du MAAARO *Détermination de l'indice-phosphore dans un champ*, commande n° 98-080.

Annexe D.
Calcul des éléments nutritifs assimilables à partir de l'analyse du fumier

L'information fournie par l'analyse du fumier, conjuguée à une bonne connaissance des conditions qui prévalaient au moment de l'épandage du fumier, donnent une bonne idée des éléments nutritifs biodisponibles contenu dans le fumier épandu sur les champs.

On détermine l'azote assimilable en soustrayant les pertes d'ammoniac qui se volatilisent dans l'air de l'azote ammoniacal épandu, et en tenant compte de la minéralisation de la fraction d'azote organique du fumier.

On peut calculer les réductions des doses de phosphate et de potasse contenus dans l'engrais en déterminant la partie assimilable de P et K total dans le fumier (40 % de phosphore et 90 % de potassium) et en multipliant par un facteur pour faire la conversion de la forme élémentaire à la forme oxydée (les concentrations d'éléments nutritifs dans les engrais sont exprimées d'après la forme oxydée). Lire attentivement le rapport, puisque certains laboratoires font ces conversions et déclarent les éléments nutritifs assimilables qui remplacent l'engrais, tandis que d'autres déclarent les concentrations de P et de K élémentaires dans le fumier.

Les calculs nécessaires sont résumés dans le tableau qui suit. Les calculs sont les mêmes que les unités soient des pourcentages, des lb/1 000 gal, ou des kg/tonne. S'assurer toutefois de garder les mêmes unités d'un bout à l'autre des calculs. Certains rapports déclarent les concentrations d'azote ammoniacal en ppm (mg/kg, mg/L) et les concentrations des autres éléments en pourcentage. Pour convertir des ppm en pourcentage, diviser par 10 000.

Azote assimilable		Phosphate assimilable		Potasse assimilable	
A. Azote total		H. Phosphore total (P)		K. Potassium total (K)	
B. Azote ammoniacal		I. P assimilable (H x 0,4)		L. Potassium assimilable (K x 0,9)	
C. Azote organique (A – B)		J. Phosphate assimilable (I X 2,29)		M. Potasse assimilable (L x 1,2)	
D. Pertes d'ammoniac (B x facteur tiré du tableau 2–11, p. 38)					
E. Ammonium assimilable (B – D)					
F. Azote organique assimilable (C x facteur tiré du tableau 2–12, p. 38)					
G. Azote total assimilable (E + F)					

Par exemple, l'analyse d'un fumier liquide de bovins laitiers révèle les concentrations suivantes : 7 % de matière sèche, 0,65 % d'azote total, 3 500 mg/L d'azote ammoniacal, 0,6 % de P et 0,3 % de K total. Toutes les concentrations d'éléments nutritifs sont exprimées en pourcentage du poids humide.

Le fumier est épandu au printemps immédiatement avant les semis, dans des conditions douces et sèches. Il est incorporé 3 jours après l'épandage.

On peut convertir la concentration d'azote ammoniacal en pourcentage, en la divisant par 10 000, ce qui donne une teneur en azote ammoniacal de 0,35 %. On peut ensuite calculer la concentration d'azote organique en soustrayant l'azote ammoniacal de l'azote total (0,65 – 0,35 = 0,3 % d'azote organique).

Dans ce cas-ci, on calcule les pertes d'ammoniac en multipliant la concentration d'azote ammoniacal (0,35 %) par le facteur tiré du tableau 2–11, *Quantité de chaux nécessaire pour corriger l'acidité du sol en fonction du pH et du pH tampon du sol*, p. 38, lequel correspond aux conditions d'application (0,65), ce qui donne une perte d'ammoniac de 0,2275 (0,35 x 0,65 = 0,2275). L'azote ammoniacal assimilable par la culture correspond à la concentration d'azote ammoniacal de départ diminuée de la perte (0,35 – 0,2275 = 0,1225).

On calcule l'azote assimilable provenant de la fraction organique en multipliant la concentration d'azote organique par le facteur de biodisponibilité tiré du tableau 2–12, *Exemple de calcul de la finesse de mouture de la chaux*, p. 38. Pour le fumier liquide de bovins laitiers, ce facteur est de 0,2, de telle sorte que la valeur d'azote organique assimilable est de 0,06 % (0,3 % x 0,2 = 0,06 %).

L'azote total assimilable correspond à la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique, soit

0,1825 % (0,1225 + 0,06 = 0,1825). Ce pourcentage d'azote assimilable, multiplié par la dose de fumier indique la quantité d'azote assimilable fournie à la culture par l'apport de fumier. Pour convertir ce pourcentage d'élément nutritif en kg/tonne, il suffit de le multiplier par 10 (pour le convertir en lb/1 000 gal, le multiplier par 100).

Le phosphate assimilable correspond à la concentration de phosphore (0,6 %) multipliée par le facteur de biodisponibilité (0,4), et par le facteur de conversion en phosphate (2,29). On obtient ainsi la concentration de phosphate assimilable provenant de ce fumier de 0,275 % (0,6 % x 0,4 x 2,29 = 0,275 %).

La potasse assimilable correspond à la concentration de potassium (0,3 %) multipliée par le facteur de biodisponibilité (0,9) et par le facteur de conversion en potasse (1,2). On obtient une concentration de potasse assimilable provenant de ce fumier de 0,324 % (0,3 % x 0,9 x 1,2 = 0,324 %).

Annexe E.
Calculs afférents à la détermination du seuil de nuisibilité économique de la pyrale du maïs

Calculs afférents à la détermination du seuil de nuisibilité des souches UNIVOLTINES (détermination de la rentabilité d'un traitement)

Plants ayant des piqûres_____/total des plants inspectés____= _____(A).

Dérouler un plant piqué provenant de chaque emplacement et chercher des larves vivantes.

Multiplier le nombre moyen de larves vivantes/plant déroulé ____ par la valeur (A) ____ci-dessus, ce qui donne le nombre de larves vivantes/plant___(B).

(Par exemple : 25 plants piqués/100 plants = 0,25 = (A). S'il y a en moyenne 1,5 larve vivante/plant déroulé, 1,5 x 0,25 = 0,38 = (B)).

Nous estimons que la perte s'établit à environ 5 %/larve vivante. Par conséquent, la valeur (B) ci-dessus multipliée par 5 % représente un pourcentage de perte de rendement possible de _____(C).

Multiplier la valeur (C) ____ par le rendement prévu de _____t/ha (ou bo/ac) par la valeur/tonne (ou boisseau) pour obtenir la valeur en dollars de la perte = ____ $ (D).

Multiplier la valeur (D) _____ par l'efficacité prévue d'un traitement antiparasitaire (75 % suggéré) pour obtenir la perte en dollars/ha (ou ac) qu'il est possible de prévenir _____ $.

Comparer cette perte qu'il est possible de prévenir au coût d'application et au coût du pesticide afin de déterminer si le traitement est rentable.

Calculs afférents à la détermination du seuil de nuisibilité des souches BIVOLTINES (détermination de la rentabilité d'un traitement)

_____ (nombre de) masses d'oeufs/plant x 2 larves/masse d'oeufs* = larves/plant (décomptes cumulatifs, effectués à 7 jours d'intervalle)

_____larves/plant x ____4 ___ % de perte/larve** = _____ % de perte de rendement

_____ % de perte de rendement x _____ rendement prévu = _____ t/ha (ou bo/ac) de perte

_____t/ha (ou bo/ac) de perte x prix de _____$/bo = _____$ de perte/hectare (ou acre)

_____$ de perte/hectare (ou acre) x 75 %*** de maîtrise = _____$ de perte qu'il est possible de prévenir/hectare (ou acre)

_____$ de perte qu'il est possible de prévenir/hectare (ou acre) – coût du traitement de_____$/hectare (ou acre) =_____

_____$ de gain (+) ou de perte (–)/acre si le traitement est effectué.

*Dans l'hypothèse de taux de survie de deux larves par masse d'oeufs; ce taux peut varier selon les conditions météorologiques et la taille des masses d'oeufs.

** Utiliser une perte de 3 %/larve/plant si l'infestation se produit une fois que les soies ont bruni. Les avantages économiques des traitements risquent de baisser rapidement si les infestations surviennent après que le maïs a atteint le stade du gonflement.

*** 75 % est une moyenne; utiliser une autre valeur au besoin.

Annexe F.
Laboratoires capables d'effectuer l'analyse d'aliments pour animaux

Agribrands Purina Canada Inc.
127, rue Zimmerman Sud
C.P. 303
Strathroy (Ontario) N7G 3W3
tél. : (519) 245-2690
téléc. : (519) 245-6089

Agri-Food Laboratories
Pavillon 1
503, ch. Imperial Nord
Guelph (Ontario) N1H 6T9
tél. : (519) 837-1600 ou 1 800 265-7175
téléc. : (519) 837-1242

Laboratoire de santé animale
Division des services de laboratoire
C.P. 3612, Édifice 49, McIntosh Lane
Université de Guelph
Guelph (Ontario) N1H 6R8
tél. : (519) 824-4120, poste 4502
téléc. : (519) 767-6240

Quality Swine Co-op
C.P. 53
Shedden (Ontario) N0L 2E0
tél. : (519) 764-2300 ou 1 800 265-4369
téléc. : (519) 764-2604

Shur-Gain
600, rue James Sud
St. Marys (Ontario) N4X 1C7
tél. : (519) 349-2152 ou 1 800 265-8507
téléc. : (519) 349-2159

Stratford Agri-Analysis
C.P. 760
1131, rue Erie
Stratford (Ontario) N5A 6W1
tél.: (519) 273-4411 ou 1 800 323-9089
téléc.: (519) 273-4411

Annexe G.
Laboratoires de dépistage du nématode à kyste du soya

A & L Labs Canada East Inc.
2136, ch. Jetstream
London (Ontario) N5V 3P5
tél. : (519) 457-2575
Téléc. : (519) 457-2664

Agri-Food Laboratories
503, ch. Imperial, Pavillon 1
Guelph (Ontario) N1H 6T9
tél. : (519) 837-1600 ou 1 800 265-7175
téléc. : (519) 837-1242

Clinique de diagnostic phytosanitaire
Division des services de laboratoire
Université de Guelph
95, ch. Stone Ouest
Guelph (Ontario) N1H 8J7
tél. : (519) 767-6256
téléc. : (519) 767-6240

Communiquer avec les laboratoires pour de plus amples renseignements sur les tarifs exigés, les précautions nécessaires à la manipulation et à l'expédition de nématodes.

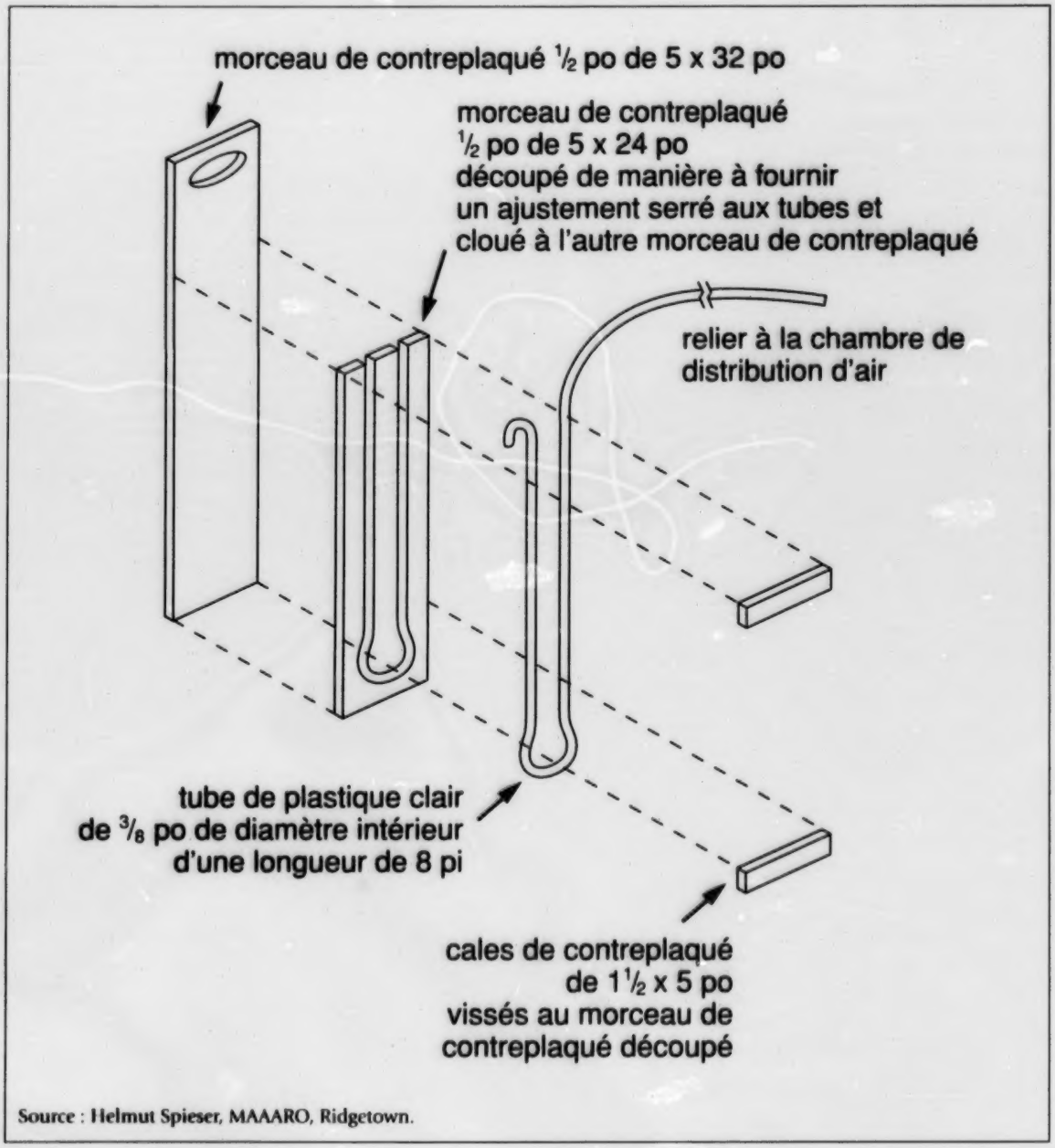
Annexe H.
Laboratoires d'analyse des semences accrédités par l'Agence canadienne d'inspection des aliments

Nom et adresse du laboratoire	Analyste en charge	Téléphone et télécopieur	Genre d'accréditation			
			Pureté	Germination	Maladies	Aucune analyse pour le public
AgReliant Genetics Inc. Seed Testing Laboratory C.P. 1088 Chatham (Ontario) N7M 5L6	Ernestine Demers	tél.: (519) 354-3210 téléc.: (519) 354-8155	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–6 et 18	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–7 et 18	aucune	x
Canadian Seed Laboratories Ltd. C.P. 217 208, rue St. David Lindsay (Ontario) K9V 5Z4	Catharine Breadner	tél.: (705) 328-1648 téléc.: (705) 324-2550	toutes cultures	toutes cultures	*Diaporthe spp.* dans le soya, *Ascochyta spp.* dans les légumineuses à grain, charbon nu dans l'orge et le blé	
Dekalb Canada Inc. 301, rue Richmond. Chatham (Ontario) N7M 1P5	Bill Rodgers	tél.: (519) 352-5310 téléc.: (519) 352-6259	aucune	maïs et soya	aucune	x
Fairlea Seeds Laboratory Services R.R. 8 St. Thomas (Ontario) N5P 3T3	Diane Dubois	tél.: (519) 631-1369 téléc.: (519) 631-3358	aucune	blé, orge, avoine, grain mélangé, maïs, soya, haricots et pois	aucune	
First Line Seeds Ltd. R.R. 2 Guelph (Ontario) N1H 6H8	Milena Jungbolt	tél.: (519) 821-0882 téléc.: (519) 821-9755	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–6 et 18	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–6 et 18	aucune	x
Hardy Seed Ltd. R.R. 1 Inkerman (Ontario) K0E 1J0	Grahame Hardy	tél.: (613) 989-2054 téléc.: (613) 989-3849	aucune	blé, avoine, orge, haricots, pois et soya	aucune	
Kent Agri Laboratory R.R. 2 Tupperville (Ontario) N0P 2M0	Dianne Gilhuly	tél.: (519) 627-3737 téléc.: (519) 627-3737	toutes cultures	toutes cultures	aucune	
Lang Germination Lab 6, rue Clarinda C.P. 419 Teeswater (Ontario) N0G 2S0	Shelley Lang	tél.: (519) 392-8203 téléc.: (519) 392-8203	aucune	cultures précisées dans les tableaux de grades 1, 2, 3, 5, 6 et 18	aucune	

Annexe H.
Laboratoires d'analyse des semences accrédités par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (suite)

Nom et adresse du laboratoire	Analyste en charge	Téléphone et télécopieur	Genre d'accréditation			
			Pureté	Germination	Maladies	Aucune analyse pour le public
Livingstone Seed Laboratory C.P. 27050 Comptoir postal 500, boul. Rexdale. Etobicoke (Ontario) M9W 6L0	Gail Livingstone	tél.: (416) 743-7191 téléc.: (416) 743-7191	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–11 (sauf dactyle pelotonné) et 13–20	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–11 (sauf dactyle pelotonné) et 13–20	aucune	
Miller Seed Farm R.R. 2 Bath (Ontario) K0H 1G0	Michael MacKinnon	tél.: (613) 352-7453 téléc.: (613) 352-7453	None	blé, orge, avoine, grain mélangé et soya	aucune	
Perth Seed Laboratory R.R. 5 Mitchell (Ontario) N0K 1N0	Bernadine Wolfe	tél.: (519) 348-9057 téléc.: (519) 348-8165	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–6 et 18	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–6 et 18	aucune	
Pickseed Canada Inc. – Laboratoire d'analyse des semences C.P. 304 Lindsay (Ontario) K9V 4S3	Kazi K. Alam	tél.: (705) 878-9240 téléc.: (705) 878-9249	toutes les cultures précisées dans les tableaux de grades 1–20	toutes les cultures précisées dans les tableaux de grades 1–20	aucune	x
Pioneer Hi Bred Ltd. C.P. 730 Autoroute 2 Ouest Chatham (Ontario) N7M 5L1	Mary Ellen Van Zelst	tél.: (519) 352-6350 téléc.: (519) 436-6741	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–5 (tournesol, carthame, maïs) et 7	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–7 et 18	aucune	x (propres clients)
W.G. Thompson and Sons Ltd. C.P. 130 Blenheim (Ontario) N0P 1A0	Christine DeRooy	tél.: (519) 676-8146 téléc.: (519) 676-5674	aucune	blé, orge, avoine, haricots, soya et maïs	aucune	
Vogel Seed Testing Laboratory 3995, ch. Lafleur R.R. 2 Apple Hill (Ontario) K0C 1B0	Linda Vogel	tél.: (613) 528-4045 téléc.: (613) 528-1048	aucune	cultures précisées dans les tableaux de grades 1–6 et 18	aucune	

Annexe I.
Manomètre de fabrication artisanale



Source : Helmut Spieser, MAAARO, Ridgetown.

Annexe J.
Information sur les semences

Culture	Taux de semis	Poids de la semence	
	kg/ha	kg/hL	lb/bo
Blé d'automne et de printemps	100–130	75	60
Avoine	60–110	42	34
Orge d'automne et de printemps	80–160	60	48
Seigle	70–95	70	56
Triticale	75–100	65	52
Maïs de grande culture	11–22	70	56
Haricots blancs (rangs de 70 cm)	40–45	75	60
Soya	65–155	75	60
Pois de grande culture	130–200	75	60
Sarrasin	55	60	48
Lin	40	70	56
Canola de printemps et d'automne	45	62	50
Millet commun	40	70	56
Tournesol oléagineux	4	34	27
Tournesol rayé	6	30	24
Moutarde blanche	8–11	70	56
Herbe du Soudan	14	50	40
Sorgho	14	70	56
Alpiste annuel	35	62	50
Lupins	150–180	75	60

Annexe K.
Poids spécifiques et teneurs en eau approximatives pour le commerce des céréales

Céréale	% de teneur en eau	lb/bo	kg/hL	g/0,5 L
Orge	14,8	48	63,0	303
Sarrasin	16,0	52	58,0	285
Canola	10,0	50	–	–
Maïs	15,5	56	66,0	333
Lin	10,0	56	65,0	305
Avoine	13,5	34	51,0	235
Seigle	14,0	56	72,0	349
Soya	14,0	60	70,0	357
Tournesol de confiserie	9,5	24	31,0	–
Tournesol oléagineux	9,5	27	35,0	–
Blé	14,5	60	75,0	365

Annexe L.
Service de diagnostic

Les échantillons destinés au diagnostic de maladies, à l'identification d'insectes ou de mauvaises herbes ou au dépistage de nématodes ou du champignon *Verticillium* peuvent être expédiés à la :

Clinique de diagnostic phytosanitaire
Division des services de laboratoire
Université de Guelph
95, ch. Stone O.
Guelph (Ontario) N1H 8J7
Tél. : (519) 767-6256
Téléc. : (519) 767-6240
Courriel : pdc@lsd.uoguelph.ca

Les échantillons doivent être accompagnés du paiement. Des frais s'appliquent pour chaque échantillon présenté.

Les formulaires de demande sont disponibles à l'adresse Internet www.uoguelph.ca/pdc.

Grille des tarifs

Intervention	Prix/échantillon
Maladies des plantes	
Diagnostic sans culture sur gelose	25 $
Diagnostic avec culture sur gelose	40 $
Diagnostic de gazon	50 $
Identification biologique de bactéries au moyen de Biolog®	95 $
Dépistage de virus à l'aide de microscopie électronique à transmission	85 $
Dépistage de virus à l'aide d'ELISA (Délai d'exécution = 5 jours ouvrables. Tarifs spéciaux pour échantillons en nombre.)	60 $
Identification des mauvaises herbes	**40 $**
Insectes	
Identification simple	25 $
Identification nécessitant dissection ou clés élaborées	40 $
Numération de nématodes et de *Verticillium*	**Prix/échantillon**
Nématodes extraits du sol (méthode *Bearman Pan)*	25 $
Numération de kystes et oeufs du NKS	35 $
Nématodes extraits de racines	60 $
Numération de *Verticillium*	60 $
Délais d'exécution	
Nématodes extraits du sol : 7–8 jours	
Nématodes extraits de racines : 15 jours	
Numération de kystes : 3–4 jours	

Paiement : Libeller le chèque au nom de *University of Guelph*. Les cartes VISA et Master Card sont aussi acceptées. Ne pas envoyer d'argent comptant par la poste.

Comment prélever les échantillons destinés au dépistage de nématodes

Sol

Quand prélever les échantillons

Les échantillons de sol et de racines peuvent être prélevés en tout temps, lorsque le sol n'est pas gelé. En Ontario, les niveaux de population des nématodes dans le sol sont généralement le plus élevés en mai et en juin puis, de nouveau, en septembre et en octobre.

Mode de prélèvement

Prélever les échantillons à l'aide d'un tube de prélèvement, d'un transplantoir ou d'une pelle à lame étroite. Prélever les échantillons de sol à une profondeur de 20–25 cm (8–10 po). Si le sol est à nu, enlever le sol sur 2 cm (1 po) avant de prélever les échantillons. Un échantillon doit réunir au moins 10 sous-échantillons, qu'on mélange et dont on ne conserve que 0,5–1 L (1 chopine à 1 pinte). Aucun échantillon ne doit représenter plus de 2,5 ha (6¼ ac). Les sous-échantillons devraient être mélangés dans un seau propre ou un sac de plastique.

Zones de prélèvement

Si la zone de prélèvement contient des plantes cultivées vivantes, faire les prélèvements dans le rang au niveau de la zone des poils absorbants (pour les arbres, à la périphérie du feuillage).

Nombre de sous-échantillons

Selon la superficie totale échantillonnée :

500 m^2 (5400 pi^2)	10 sous-échantillons
500 m^2–0,5 ha (5400 pi^2–1¼ ac)	25 sous-échantillons
0,5–2,5 ha (1¼–6¼ ac)	50 sous-échantillons

Racines

Pour les petites plantes, échantilloner tout le système racinaire plus le sol qui y adhère. Pour les grosses plantes, il faut prélever 10–20 g (½–1 oz) en poids frais dans la zone des poils absorbants.

Zones atteintes

Prélever des échantillons de sol et de racines en périphérie de la zone atteinte, là où les plants sont encore vivants. Dans la mesure du possible, prélever

aussi dans le même champ des échantillons provenant de zones saines. Soumettre si possible des échantillons de racines et de sol provenant à la fois des zones atteintes et des zones saines dans le même champ.

Manipulation des échantillons

Échantillons de sol

Les placer dans des sacs de plastique dès que possible après le prélèvement.

Échantillons de racines

Les placer dans des sacs de plastique et les recouvrir de sol humide prélevé au même endroit.

Entreposage

Entreposer les échantillons à une température de 5–10 °C (40–50 °F). Ne pas les exposer aux rayons du soleil ou à des températures extrêmement chaudes ou froides (congélation). **Seuls les nématodes vivants peuvent être comptés. Pour que la numération soit représentative du milieu réel, il faut manipuler les échantillons correctement.**

Plantes présentées pour identification ou diagnostic

Formulaires de demande d'analyse

Les formulaires de demande sont disponibles aux centres de ressources du MAAARO. Prendre soin de bien remplir chacune des sections du formulaire. Dans l'espace prévu, dessiner les symptômes les plus évidents et la forme que prend la zone atteinte dans le champ. Il est important d'indiquer les cultures qui ont occupé cette zone pendant les 3 dernières années et les pesticides qui ont été employés au cours de la présente année.

Choisir un échantillon complet et représentatif montrant les premiers symptômes. Présenter un échantillon aussi complet que possible de la plante, y compris le système racinaire ou plusieurs plants montrant une gamme de symptômes. Pour le gazon, présenter une plaque de 10–15 cm de côté, y compris le chaume et au moins 5 cm de sol. L'échantillon devrait être prélevé sur le périmètre extérieur d'un cercle ou d'une pièce atteinte; il devrait contenir à la fois du gazon sain et malade ainsi que la zone d'intersection. Si les symptômes sont généraux, prélever l'échantillon dans une zone où les dommages sont intermédiaires. **Les matières complètement mortes sont habituellement inutiles à des fins de diagnostic.**

Les spécimens de plantes présentés à des fins d'identification devraient comporter une portion d'au moins 20–25 cm de la partie supérieure de la tige et des bourgeons latéraux, des feuilles, des fleurs ou des fruits dans un état qui permet de les identifier. Envelopper les plants dans du papier journal et les mettre dans un sac de plastique. Il faut placer le système racinaire dans un sac de plastique séparé, bien attaché, pour éviter le dessèchement et la contamination des feuilles par le sol. Ne PAS ajouter d'eau, de façon à ne pas encourager la décomposition durant le transport. Coussiner les spécimens et les emballer dans une boîte rigide pour éviter les dommages durant le transport. Éviter de laisser des spécimens exposés à des températures extrêmes dans un véhicule ou dans un endroit où ils pourraient se détériorer.

Envoi des échantillons

Les expédier le plus tôt possible, pourvu que ce soit en début de semaine, par courrier de première classe ou par messagerie, à la Clinique de diagnostic phytosanitaire.

Spécimens d'insectes présentés pour identification

Prélèvement des échantillons

Placer les cadavres d'insectes et d'araignées à corps dur dans des éprouvettes ou des boîtes en prenant soin d'entourer celles-ci d'essuie-tout ou de ouate. Dans le cas des insectes à corps mou et des chenilles, les placer dans des éprouvettes contenant de l'alcool. Ne pas utiliser d'eau, car elle risquerait de faire pourrir le spécimen. Pour l'expédition, il ne faut pas fixer les insectes sur du papier au moyen de ruban gommé ni les laisser libres dans une enveloppe.

Placer les insectes vivants dans un contenant renfermant suffisamment de végétaux pour les nourrir pendant le transport. S'assurer d'inscrire la mention « vivant » sur le contenant.

Annexe M.
Autres ressources

Université de Guelph
Campus principal
Guelph N1G 2W1
(519) 824-4120
www.uoguelph.ca

Collège d'Alfred
Alfred K0B 1A0
(613) 679-2218
www.alfredc.uoguelph.ca/

Collège de Kemptville
Kemptville K0G 1J0
(613) 258-8336
www.kemptvillec.uoguelph.ca

Collège de Ridgetown
Ridgetown N0P 2C0
(519) 674-1500
www.ridgetownc.on.ca

Département de Phytotechnie
www.plant.uoguelph.ca

Département de Phytotechnie, Kettleby
1125 Woodchopper's Lane, R.R. 1,
Kettleby L0G 1J0
(905) 775-3783

Département de Phytotechnie, Simcoe
C.P. 587, ch. Blue Line
Simcoe N3Y 4N5,
(519) 426-7127

Département de Phytotechnie, Vineland
C.P. 7000, 4890, av. Victoria N.
Vineland Station L0R 2E0
(905) 562-4141

Division des services de laboratoire
www.uoguelph.ca/labserv/
Laboratoire d'analyse des résidus de pesticides et oligo-éléments
C.P. 3650
95, ch. Stone Ouest
Guelph N1H 8J7
(519) 767-6200

Clinique de diagnostic phytosanitaire
(519) 767-6256

Agriculture et Agroalimentaire Canada
Centres de recherches
Centre de recherches de l'Est sur les céréales et les oléagineux
960, av. Carling
Ottawa K1A 0C6
(613) 759-1952
http://res2agr.ca/ecorc/welcome.htm

Centre de recherches sur les cultures abritées et industrielles
Harrow N0R 1G0
(519) 738-2251
http://res2.agr.ca/harrow/

Centre de recherches du Sud sur la phytoprotection et les aliments
1391, rue Sandford, London N5V 4T3
(519) 457-1470
http://res2.agr.ca/london/pmrc/pmrchome.html

Ferme expérimentale de Vineland
4902, av. Victoria N., Vineland
(905) 562-4113

Ferme expérimentale de Delhi
C.P. 186, ch. Schafer, Delhi N4B 2W9
(519) 582-1950

Agence canadienne d'inspection des aliments
www.cifa-acia.agr.ca
Bureaux régionaux (phytoprotection)
Belleville
345, rue College Est, Belleville K8N 5S7
(613) 969-3333

Hamilton
709, rue Main O., 101, Hamilton L8S 1A2
(905) 572-4152

London
457, rue Richmond, bur. 404, London N6A 3E3
(519) 645-4021

Niagara Falls
(adresse postale) R.R. 1, C.P. 7,
Niagara on the Lake L0S 1J0

(adresse civique) 14154, Niagara River Parkway,
bur. 5, Niagara On the Lake
(905) 262-5331

Brantford
Édifice fédéral, angle Dalhousie et Queen, C.P. 637
Brantford N3T 5P9
(519) 751-8157

District d'Ottawa
3, cr. Observatory, Édifice n° 3
Ferme expérimentale centrale
Ottawa K1A 0C9
(613) 759-1571

Bureau de Toronto
401, prom. Champagne, Pav. 1
Downsview M3J 2C6
(416) 954-1714

Windsor
441, av. University O., bur. 208
Windsor N9A 5P9
(519) 252-7095

Annexe N. Système métrique

Unités métriques

Unité de longueur		
10 millimètres (mm)	=	1 centimètre (cm)
100 centimètres (cm)	=	1 mètre (m)
1 000 mètres	=	1 kilomètre (km)
Unités de surface		
100 m x 100 m = 10 000 m^2	=	1 hectare (ha)
100 ha	=	1 kilomètre carré (km^2)
Unités de volume		
Solides		
1 000 millimètres cubes (mm^3)	=	1 centimètre cube (cm^3)
1 000 000 cm^3	=	1 mètre cube (m^3)
Liquides		
1 000 millilitres (mL)	=	1 litre (L)
100 L	=	1 hectolitre (hL)
Équivalences poids-volume (pour l'eau)		
(1,00 kg) 1 000 grammes	=	1 litre (1,00 L)
(0,50 kg) 500 g	=	500 mL (0,50 L)
(0,10 kg) 100 g	=	100 mL (0,10 L)
(0,01 kg) 10 g	=	10 mL (0,01 L)
(0,001 kg) 1 g	=	1 mL (0,001 L)
Unités de poids		
1 000 milligrammes (mg)	=	1 gramme (g)
1 000 g	=	1 kilogramme (kg)
1 000 kg	=	1 tonne (t)
1 mg/kg	=	1 partie par million (ppm)
Équivalences solides-liquides		
1 cm^3	=	1 mL
1 m^3	=	1 000 L

Conversion des taux d'application (approximations)

Du métrique à l'impérial (approximations)		
litres à l'hectare x 0,09	=	gallons à l'acre
litres à l'hectare x 0,11	=	*gallons US à l'acre*
litres à l'hectare x 0,36	=	pintes à l'acre
litres à l'hectare x 0,36	=	*gallons US à l'acre*
litres à l'hectare x 0,71	=	chopines à l'acre
litres à l'hectare x 0,86	=	*chopines US à l'acre*
millilitres à l'hectare x 0,015	=	onces liquides à l'acre
grammes à l'hectare x 0,015	=	onces à l'acre
kilogrammes à l'hectare x 0,89	=	livres à l'acre
tonnes (métriques) à l'hectare x 0,45	=	tonnes impériales à l'acre
De l'impérial ou du système U.S. au métrique (approximations)		
gallons à l'acre x 11,23	=	litres à l'hectare (L/ha)
gallons US à l'acre x 9,35	=	*litres à l'hectare (L/ha)*
pintes à l'acre x 2,8	=	litres à l'hectare (L/ha)
pintes US à l'acre x 2,34	=	*litres à l'hectare (L/ha)*
chopines à l'acre x 1,4	=	litres à l'hectare (L/ha)
chopines US à l'acre x 1,17	=	*litres à l'hectare (L/ha)*
onces liquides à l'acre x 70	=	millilitres à l'hectare (mL/ha)
onces liquides US à l'acre x 73	=	*millilitres à l'hectare (mL/ha)*
tonnes imp. à l'acre x 2,24	=	tonnes (métriques) à l'hectare (t/ha)
livres à l'acre x 1,12	=	kilogrammes à l'hectare (kg/ha)
livres à l'acre x 0,45	=	*kilogrammes à l'acre (kg/ac)*
onces à l'acre x 70	=	grammes à l'hectare (g/ha)

Conversions de doses d'engrais

K_2O x 0,83	=	K (élémentaire)
P_2O_5 x 0,44	=	P (élémentaire)
Phosphore (P) x 2,29	=	P_2O_5
Potasse (K_2O) x 0,83	=	Potassium (K)
Potassium (K) x 1,2	=	Potasse (K_2O)

Conversions utiles

5 mL	=	1 cuil. à thé
15 mL	=	1 cuil. à soupe
28,5 mL	=	1 once liquide

Équivalences de poids

métrique		impérial
100 grammes/hectare	=	1 ½ once/acre
200 grammes/hectare	=	3 onces/acre
300 grammes/hectare	=	4 ¼ onces/acre
500 grammes/hectare	=	7 onces/acre
700 grammes/hectare	=	10 onces/acre
1,10 kilogramme/hectare	=	1 livre/acre
1,50 kilogramme/hectare	=	1 ¼ livre/acre
2,00 kilogrammes/hectare	=	1 ¾ livre/acre
2,50 kilogrammes/hectare	=	2 ¼ livres/acre
3,25 kilogrammes/hectare	=	3 livres/acre
4,00 kilogrammes/hectare	=	3 ½ livres/acre
5,00 kilogrammes/hectare	=	4 ½ livres/acre
6,00 kilogrammes/hectare	=	5 ¼ livres/acre
7,50 kilogrammes/hectare	=	6 ¾ livres/acre
9,00 kilogrammes/hectare	=	8 livres/acre
11,00 kilogrammes/hectare	=	10 livres/acre
13,00 kilogrammes/hectare	=	11 ½ livres/acre
15,00 kilogrammes/hectare	=	13 ½ livres/acre

Équivalences liquides

litres/ hectare		gallons/acre (approx.)
50	=	5
100	=	10
150	=	15
200	=	20
250	=	25
300	=	30

Vitesse d'avancement

milles à l'heure	x	88	=	pieds par minute
milles à l'heure	x	1,467	=	pieds par seconde
milles par minute	x	88	=	pieds par seconde
milles par minute	x	60	=	milles à l'heure
pieds par minute	x	0,01667	=	pieds par seconde
pieds par minute	x	0,01136	=	milles à l'heure
pieds par seconde	x	18,288	=	mètres par minute
pieds par seconde	x	0,3048	=	mètres par seconde
pieds par seconde	x	1,09728	=	kilomètres à l'heure
centimètres par seconde	x	1,968504	=	pieds par minute
centimètres par seconde	x	0,0328084	=	pieds par seconde
centimètres par seconde	x	0,02236936	=	milles à l'heure
kilomètres à l'heure	x	27,777778	=	centimètres par seconde
kilomètres à l'heure	x	3280,8399	=	pieds à l'heure
kilomètres à l'heure	x	54,680665	=	pieds par minute
kilomètres à l'heure	x	0,6213712	=	milles à l'heure
milles à l'heure	x	1,6093439	=	kilomètres à l'heure

Abréviations

%	= pourcent (en poids)	L	= litre
ac	= acre	lb	= livre
AP	= poudre à usage agricole	m	= mètre
bo	= boisseau	m.a.	= matière active
cm	= centimètre	m/s	= mètres à la seconde
cm^2	= centimètre carré	m^2	= mètre carré
DG	= granulé dispersable	min	= minute
DP	= poudre dispersable	mL	= millilitre
E	= émulsion	mm	= milimètre
EC	= concentré émulsifiable	p. ex.	= par exemple
F	= pâte fluide	pi	= pied
g	= gramme	po	= pouce
Gr	= granulé	SC	= concentré à pulvériser
ha	= hectare	SP	= poudre soluble
kg	= kilogramme	t	= tonne (métrique)
km/h	= kilomètre à l'heure	W	= poudre (mouillable)
kPa	= kilopascal	WDG	= granulé dispersable dans l'eau
km	= kilomètre	WP	= poudre mouillable

Table de conversion — Du métrique à l'impérial

Longueur		
1 millimètre (mm)	=	0,04 pouce
1 centimètre (cm)	=	0,40 pouce
1 mètre (m)	=	39,40 pouces
1 mètre (m)	=	3,28 pieds
1 mètre (m)	=	1,09 verge
1 kilomètre (km)	=	0,62 mille
Superficie		
1 centimètre carré (cm^2)	=	0,16 pouce carré
1 mètre carré (m^2)	=	10,77 pieds carrés
1 mètre carré (m^2)	=	1,20 verge carrée
1 kilomètre carré (km^2)	=	0,39 mille carré
1 hectare (ha)	=	107 636 pieds carrés
1 hectare (ha)	=	2,5 acres
Volume (solides)		
1 centimètre cube (cm^3)	=	0,061 pouce cube
1 mètre cube (m^3)	=	1,31 verge cube
1 mètre cube (m^3)	=	35,31 pieds cubes
1 000 mètres cubes (m^3)	=	0,81 acre-pied
1 hectolitre (hL)	=	2,8 boisseaux
Volume (liquides)		
1 millilitre (mL)	=	0,035 once liquide
1 litre (L)	=	1,76 chopine (imp.)
1 litre (L)	=	0,88 pinte (imp.)
1 litre (L)	=	0,22 gallon (imp.)
1 litre (L)	=	0,26 gallon (U.S.)
Poids		
1 gramme (g)	=	0,035 once
1 kilogramme (kg)	=	2,21 livres
1 tonne (t)	=	1,10 tonne courte (ou tonne impériale)
1 tonne (t)	=	2 205 livres
Pression		
1 kilopascal (kPa)	=	0,15 livre/pouce carré
Vitesse		
1 mètre par seconde	=	3,28 pieds par seconde
1 mètre par seconde	=	2,24 milles à l'heure
1 kilomètre à l'heure	=	0,62 mille à l'heure
Température		
°F	=	(°C x 9/5) + 32

Table de conversion — De l'impérial au métrique

Longueur		
1 pouce	=	2,54 cm
1 pied	=	0,30 m
1 verge	=	0,91 m
1 mille	=	1,61 km
Surface		
1 pied carré	=	0,09 m^2
1 verge carrée	=	0,84 m^2
1 acre	=	0,40 ha
Volume (solides)		
1 verge cube	=	0,76 m^3
1 boisseau	=	36,37 L
Volume (liquides)		
1 once liquide (imp.)	=	28,41 mL
1 chopine (imp.)	=	0,57 L
1 gallon (imp.)	=	4,55 L
1 gallon (U.S.)	=	3,79 L
Poids		
1 once	=	28,35 g
1 livre	=	453,6 g
1 tonne imp.	=	0,91 tonne (métrique)
Pression		
1 livre au pouce carré	=	6,90 kPa
Température		
°C	=	(°F – 32) x 5/9

12. Planches couleur

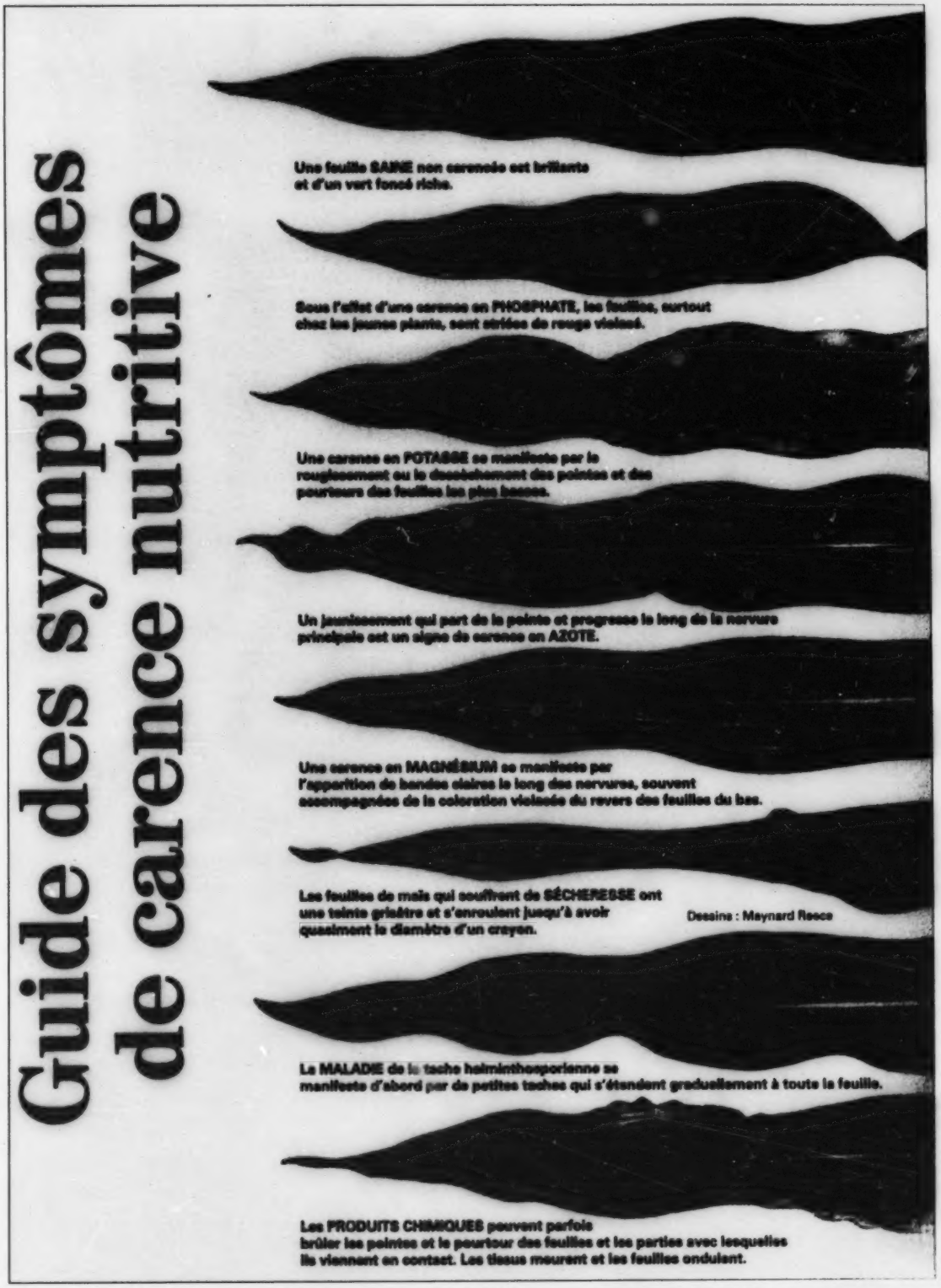


Planche 1. Guide des symptômes de carence nutritive. Traduction libre de « Guide to Nutrient Deficiency Symptoms » réimprimé avec l'autorisation du *Saturday Evening Post* © 1957 (renouvelé), BFL&MS, Inc.

Planche 2. Levée inégale, résultat de l'enfouissement des semences à des profondeurs différentes.

Planche 3. Feuilles de maïs violacées, résultat d'un stress causé par du temps froid ou des blessures aux racines. Il ne s'agit normalement pas d'une carence en phosphore.

Planche 4. Carence en potassium se manifestant d'abord sur les feuilles du bas par le jaunissement et le brunissement de la pointe puis des pourtours des feuilles.

Planche 5. Carence en azote qui se manifeste d'abord sur les feuilles du bas. Le jaunissement commence à la pointe des feuilles, puis progresse le long de la nervure principale.

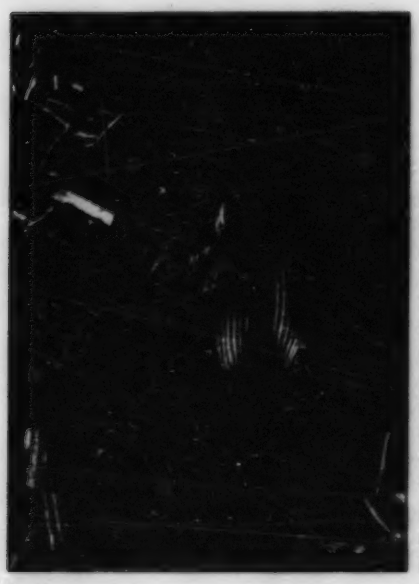


Planche 6. Carence en magnésium qui se manifeste d'abord sur les feuilles du bas par des bandes jaunes qui peuvent devenir rouge violacé à mesure que la carence s'accentue.

Planche 7. Carence en zinc prenant la forme d'une large bande blanche près de la base de la feuille chez les jeunes plants.

Planche 8. Les blessures causées par les engrais brûlent les racines séminales, ce qui retarde la croissance jusqu'à ce que les racines coronales se développent. Il en résulte une levée inégale.

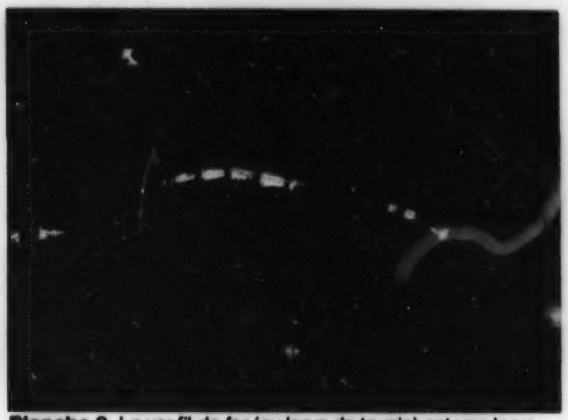


Planche 9. Le ver fil-de-fer (ou larve de taupin) est une larve longue et cylindrique, à exosquelette dur, habituellement de couleur brun cuivré. Il nuit à de nombreuses cultures, habituellement lorsque celles-ci suivent des graminées dans la rotation.

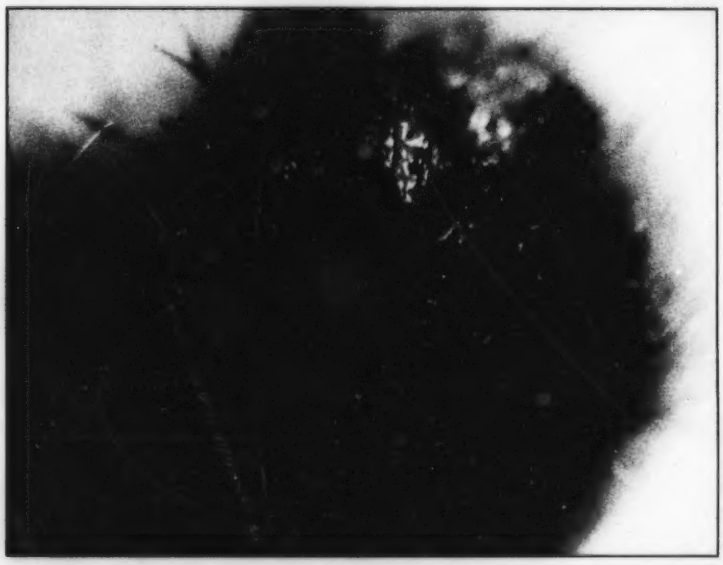


Planche 10. La larve du hanneton européen est blanche, a la tête brun orangé et le postérieur sombre. On la distingue des autres vers blancs par le motif en « Y » que forment les soies de l'écusson anal.

Planche 11. Plant de maïs coupé au ras du sol par une larve de la noctuelle ipsilon (ver-gris noir). Les larves sont noir grisâtre sur le dos et plus pâles sur le ventre. À maturité, elles mesurent environ 3,5 cm (1 ¼ po) de long.

Planche 12. Les limaces sont dépourvues de pattes, ont le corps mou et sont grisâtres ou tachetées. Elles sont recouvertes d'une substance visqueuse qu'elles laissent derrière elles après leur passage.

Planche 13. La chrysomèle occidentale des racines du maïs adulte a le corps qui va du jaune au vert et possède trois bandes noires sinueuses sur les ailes.

Planche 14. La chrysomèle des racines du maïs adulte a le corps qui va habituellement du vert au jaune et est dépourvue de rayures.

Planche 15. Masses d'œufs de la pyrale du maïs. Chaque masse d'œufs compte 15–40 œufs empilés comme des écailles de poisson.

Planche 16. Les larves de la pyrale du maïs vont du crème au rose, ont la tête noire et présentent deux taches noires par segment abdominal. Les larves sont des vecteurs de diverses pourritures de la tige.

Planche 17. Pyrale du maïs adulte. Le papillon femelle (à gauche) est plus gros et de couleur plus claire que le mâle.

Planche 18. Les larves de la légionnaire uniponctuée ont des bandes noires dans le haut de chaque fausse-patte et ont la tête d'un brun plus clair.

Planche 19. Les larves de la légionnaire d'automne endommagent les épis de maïs. Elles laissent des trous d'entrée sur l'extérieur de l'épi. Remarquer la tête noire ornée d'un « Y » inversé sur le front.

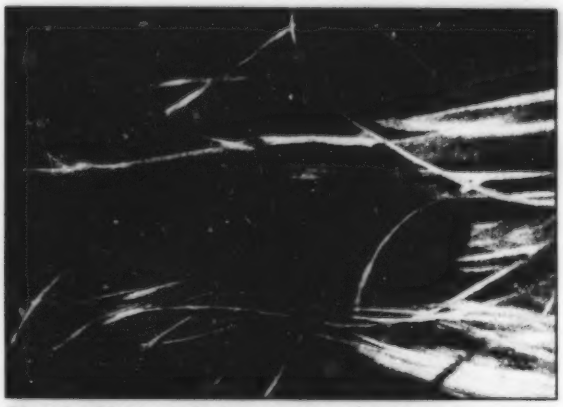


Planche 20. Ver de l'épi du maïs sur un épi. Les dommages causés par le ver sont habituellement concentrés autour de la pointe de l'épi.

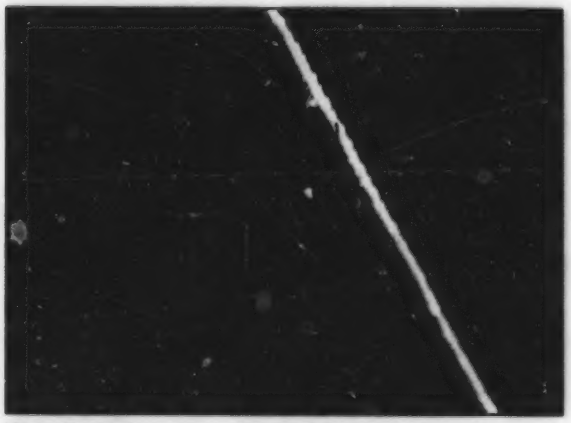


Planche 21. Les altises du maïs laissent derrière elles de longues égratignures parallèles à la nervure de la feuille. Elles sont des vecteurs du flétrissement de Stewart (une brûlure bactérienne des feuilles).

Planche 22. Larve de la noctuelle de la pomme de terre émergeant de la base des tiges de maïs. Les dommages sont habituellement concentrés dans les rangs périmétriques.

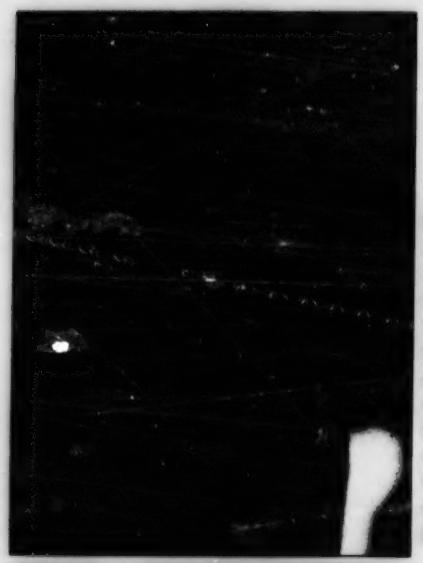


Planche 23. Pucerons du maïs agglutinés sur un épi de maïs. La panicule et les soies peuvent devenir recouvertes de miellat, ce qui nuit à la pollinisation.

Planche 24. Nitidules profitant d'un épi de maïs meurtri pour se nourrir. Ne causent pas de dommages primaires.

Planche 25. L'anthracnose s'attaque à la fois aux feuilles et aux tiges. Les principaux symptômes sont des taches sur les feuilles, le dépérissement du sommet du plant et la pourriture des tiges.

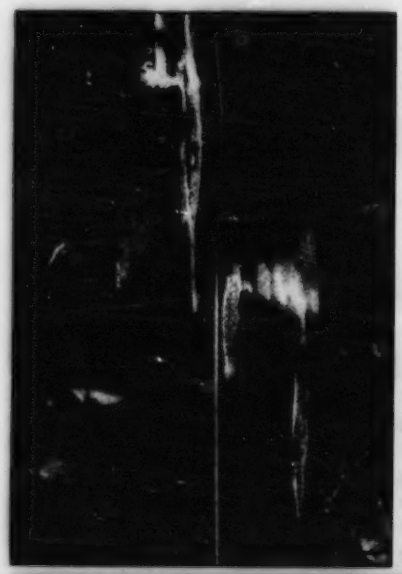


Planche 26. Longues stries elliptiques vert grisâtre ou chamois caractéristiques du dessèchement.

Planche 27. Kabatiellose : taches rondes ou ovales sur les feuilles, avec un centre chamois/brun et un pourtour brun/violacé, et entourées d'un halo jaune translucide bien visible devant une source lumineuse.

Planche 28. Le flétrissement bactérien (flétrissement de Stewart, bactériose) se produit après la formation de la panicule, soit aux stades V2 à V4. La bactérie responsable est amenée par l'altise du maïs.

Planche 29. Les symptômes habituels de la rouille vont des mouchetures jaunes aux pustules rouges.

Planche 30. L'incidence du charbon commun augmente là où les plants ont été endommagés.

Planche 31. Le charbon des inflorescences se manifeste sur les épis ou les panicules.

Planche 32. Anthracnose se manifestant par la pourriture de la tige et amenant une altération de la couleur (noircissement) des tissus à l'intérieur de la tige et la pourriture de la moelle.

Planche 33. Tissu filamenteux et rouge de la moelle, résultat d'une infection par *Gibberella*, responsable de la fusariose de la tige.

Planche 34. La fusariose de l'épi (causée par *Gibberella)* commence souvent à l'extrémité de l'épi puis progresse vers la base. Remarquer la couleur allant du rose foncé au rouge.

Planche 35. Pourriture fusarienne de l'épi. Noter la présence d'un feutre mycélien blanc formant un rayonnement sur les grains.

Planche 36. Maïs endommagé par le gel à la mi-juin. Les plants plus petits peuvent s'en remettre, mais la croissance des plants plus vieux peut être limitée par les tissus détruits par le gel.

Planche 37. Le stress dû à la sécheresse affecte surtout les rendements du stade de la formation de la panicule à celui de l'apparition des soies.

Planche 38. Les pertes de rendement les plus grandes attribuables à la grêle surviennent lorsque le maïs est défolié au stade de la formation de la panicule.

Planche 39. Dommages attribuables aux oiseaux sur des épis de maïs.

Planche 40. Blessure causée par la dinitroaniline dans le maïs.

Planche 41. Blessure causée par le chloroacétamide dans le maïs.

Planche 42. Blessure causée par l'isoxaflutole. Feuilles délavées par suite de l'application d'une quadruple dose d'isoxaflutole, feuilles à la dose normale et feuilles provenant de plants témoins (non traités).

Planche 43. Maïs présentant le symptôme de la feuille d'oignon causé par des herbicides auxiniques.

Planche 44. Racines échasses tordues par le dicamba.

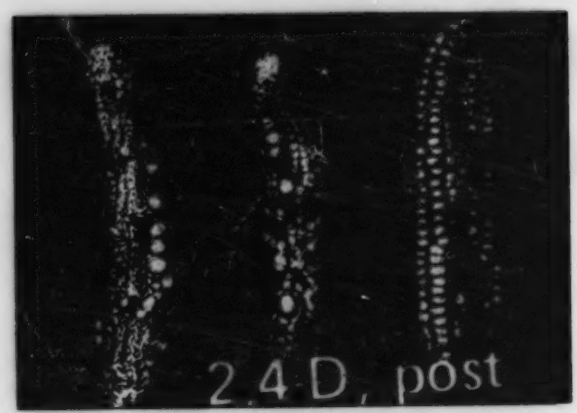


Planche 45. Blessure causée par un herbicide auxinique sur des épis de maïs (p. ex. 2,4-D et dicamba).

Planche 46. Blessures causées par le bromoxynil dans le maïs.

Planche 47. Taches causées par un inhibiteur de l'acétolactate synthase (ALS) dans le maïs.

Planche 48. Maïs endommagé par un antigraminée de groupe 1 (inhibiteurs de la carboxylase acétyl-CoA [ACCase]).

Planche 49. Plants de maïs sensibles et tolérants au glufosinate-ammonium.

Planche 50. Stades VL et VC de la levée montrant l'élongation de l'hypocotyle et le déploiement des cotylédons.

Planche 51. Carence en potassium (K) se manifestant par le jaunissement ou le brunissement du pourtour des feuilles les plus vieilles.

Planche 52. Carence en manganèse (Mn) reconnaissable aux feuilles supérieures qui tournent au vert pâle, puis presque au blanc, bien que les nervures restent vertes

Planche 53. Petite, apode et dépourvue de tête, la larve de la mouche des légumineuses creuse dans les graines en germination et affaiblit les plantules.

Planche 54. Dommages causés par les limaces sur les graines. Les limaces préfèrent les sols humides, les températures fraîches et les débris qui leur offrent un abri contre le soleil.

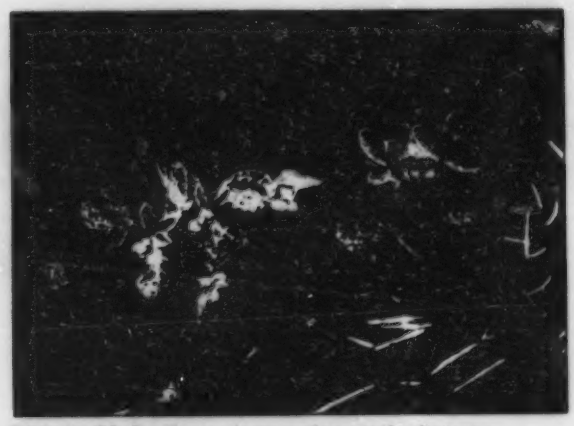


Planche 55. Feuilles endommagées par des limaces. Celles-ci se nourrissent de toutes les parties des plantes, laissant des trous aux pourtours déchiquetés. Si elles dévorent le point végétatif, le plant peut mourir.

Planche 56. La cicadelle de la pomme de terre est un insecte ailé vert pâle, au corps cunéiforme. Les nymphes n'ont pas d'ailes et sont plus petites que les adultes.

Planche 57. Le puceron du soya est petit et vert pâle. Il peut être ailé ou non. On le trouve sur le revers des feuilles et sur les tiges.

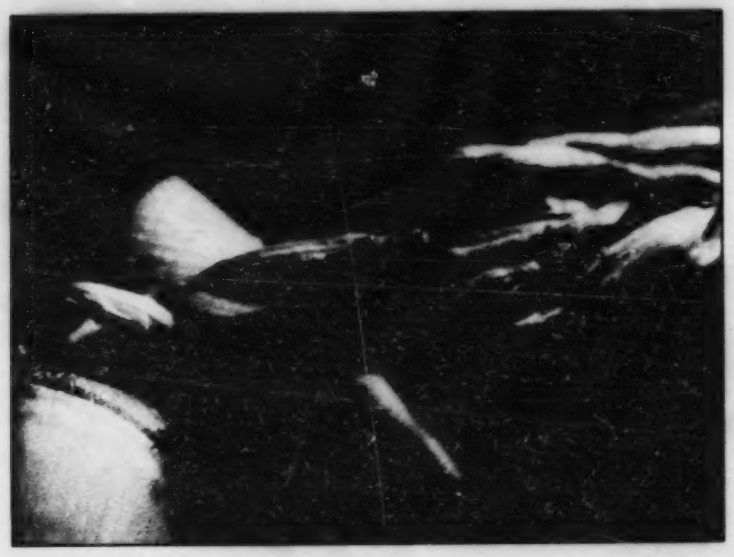


Planche 58. Les larves de la coccinelle sont des ennemis naturels du puceron du soya.

Planche 59. Les tétranyques à deux points sont à peine visibles à l'œil nu. Les adultes ont huit pattes, sont brun jaunâtre et ont deux taches sombres.

Planche 60. Les dommages causés par les tétranyques à deux points sont surtout visibles sur le revers des feuilles, dont ils provoquent le jaunissement, l'enroulement et le bronzage.

Planche 61. Au stade adulte, la chrysomèle du haricot est de couleur variable, mais présente toujours un petit triangle noir derrière la tête. Les quatre points peuvent être présents ou non.

Planche 62. Le scarabée japonais a la tête d'un vert métallique brillant et des ailes cuivre teintées de vert aux extrémités. Il présente 12 petites touffes de poils aux limites des ailes.

Planche 63. Le pourridié fusarien provoque le brunissement des tissus à l'intérieur des racines.

Planche 64. Le pourridié phytophthoréen cause des lésions gorgées d'eau sur les plantules et un changement de couleur de la tige qui devient violacée ou brun foncé. Les symptômes apparaissent d'abord à la surface du sol et progressent vers les nœuds du bas.

Planche 65. La pourriture de la racine (rhizoctonie) donne des lésions rougeâtres sur la tige au niveau du sol ou tout juste en dessous.

Planche 66. La pourriture phomopsienne des semences provoque l'apparition de fines craquelures et de moisissure, qui partent des environs du hile et qui réduisent la qualité et la vigueur des graines.

Planche 67. Les symptômes de brûlure phomopsienne des tiges et des gousses sont de petits points noirs surélevés ou corpuscules alignés ou regroupés sur la tige.

Planche 68. L'oïdium se manifeste sous forme d'une couche poudreuse blanche de mildiou à la face supérieure des feuilles.

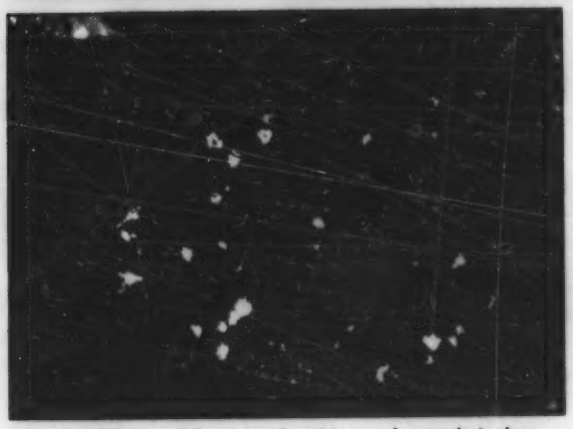


Planche 69. Le mildiou se présente sous forme de taches allant du jaune au brun sur le dessus des feuilles, et d'un feutre mycélien bleu-gris sur le dessous de la feuille.

Planche 70. La moisissure blanche (*Sclerotinia*) produit un feutre mycélien cotonneux blanc sur les tiges atteintes.

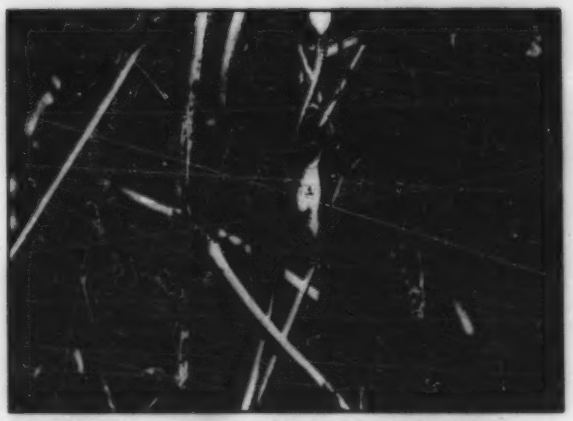


Planche 71. La moisissure blanche fait mourir les tiges infectées sur lesquelles apparaissent de petits sclérotes noirs.

Planche 72. Les plants infestés par le nématode à kyste du soya peuvent être rabougris et présenter des feuilles jaunâtres. Les endroits endommagés forment souvent des plages circulaires dans le champ.

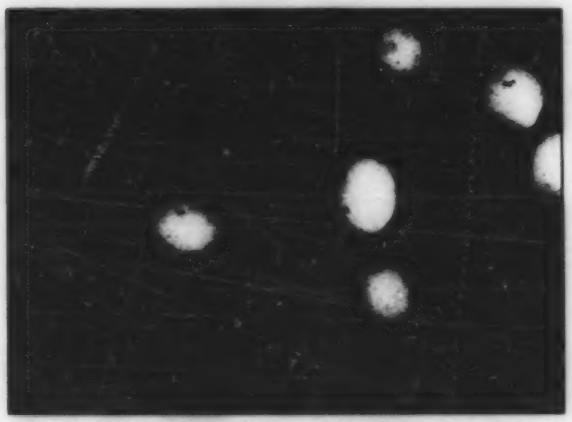


Planche 73. Kystes jaune-brun, en forme de citron (de la taille de la tête d'une épingle) se formant sur les racines des plants de soya infectés par le nématode à kyste du soya.

Planche 74. Les plants souffrant du syndrome de la mort subite flétrissent et meurent rapidement. Ils présentent parfois une chlorose internervaire et une nécrose des feuilles supérieures.

Planche 75. Le chancre de la tige entraîne le flétrissement subit du plant et l'apparition de lésions rouge-brun près des noeuds inférieurs.

Planche 76. Les symptômes de la mosaïque du soya comprennent des feuilles déformées et cloquées et le rabougrissement des plants. Le virus en cause est amené par les pucerons du soya.

Planche 77. Le virus de la mosaïque du soya peut provoquer le brunissement ou le noircissement de la graine et son fendillement près du hile.

Planche 78. Blessures par le gel. Si le gel endommage le point végétatif, sans toutefois toucher la tige, la plante a des chances de s'en remettre grâce aux nouvelles pousses qui naîtront à l'aisselle des feuilles.

Planche 79. Dommages par la grêle. Le soya est surtout vulnérable à la grêle pendant la floraison et le remplissage des gousses.

Planche 80. Dommages causés par les triazines sur les feuilles inférieures de soya, qui présentent des tissus jaunis et morts entre les nervures.

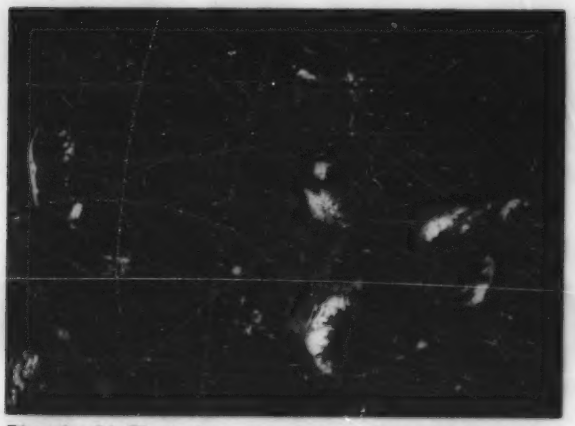


Planche 81. Plants de soya endommagés par les triazines absorbées par les racines ou éclaboussées sur les feuilles.

Planche 82. Blessures causées par le chloroacétamide sur des feuilles de soya dont la nervure principale, trop courte, donne des feuilles en forme de cœur.

Planche 83. Feuilles gaufrées et tiges tordues par des herbicides auxiniques comme le dicamba ou le 2,4-D.

Planche 84. Dommages causés aux feuilles par le contact avec un herbicide à base d'éther de diphényle; les feuilles brûlent, mais les nouvelles feuilles ne seront pas affectées.

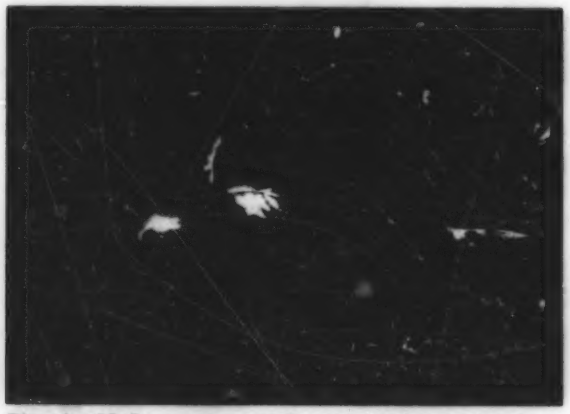


Planche 85. Dommages causés par le bentazone dans le soya.

Planche 86. Dommages causés par un inhibiteur de l'acétolactate synthase (ALS); les nervures rougissent sur le revers des feuilles de soya.

Planche 87. Carence en potassium (K) signalée par les petits points pâles près du pourtour des folioles.

Planche 88. Carence en bore qui se manifeste par le jaunissement ou le rougissement des feuilles du haut et par un ralentissement de croissance.

Planche 89. Au stade adulte, le charançon de la luzerne fait environ 12 mm de long et ne peut pas voler.

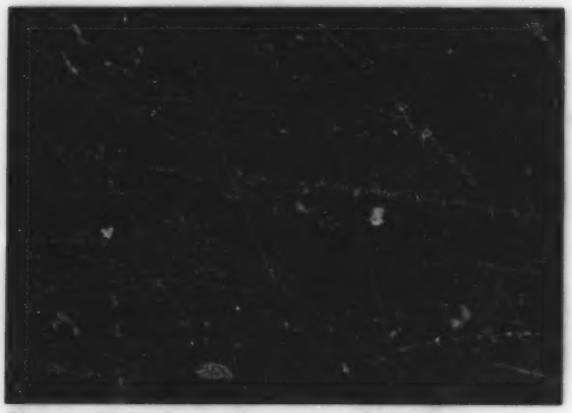


Planche 90. Les larves de charançon de la luzerne ceinturent la racine pivotante ou en entaillent la surface, y laissant de profondes rainures spiralées. Les larves sont blanches, apodes et à tête brun-rouge.

Planche 91. Les larves de l'agromyze de la luzerne, aussi appelée mineuse virgule de la luzerne, se nourrissent à l'intérieur du foliole, creusant des galeries entre les surfaces supérieure et inférieure de la feuille.

Planche 92. Au stade adulte, le charançon postiche de la luzerne mesure environ 8 mm de long. Il se caractérise par une bande sombre longitudinale sur le dos.

Planche 93. Les larves du charançon postiche de la luzerne se nourrissent de feuilles dont elles ne laissent que le squelette. Les larves ont la tête noire.

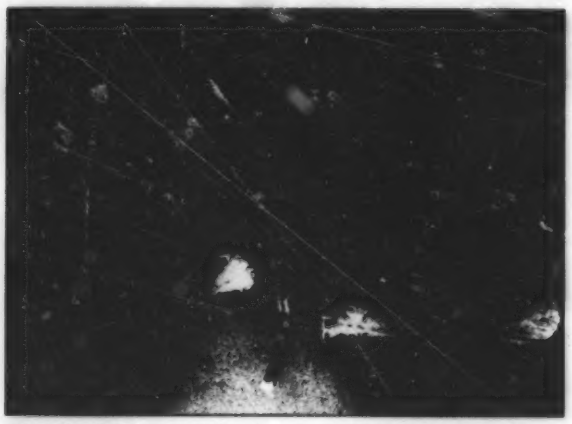


Planche 94. La cicadelle de la pomme de terre cause des dommages plus graves chez les nouvelles plantules et les jeunes repousses.

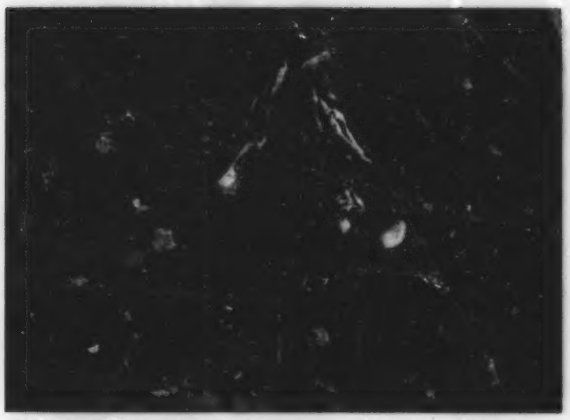


Planche 95. Au début, la flétrissure verticillienne ne touche que quelques tiges. Celles-ci flétrissent, s'enroulent et se décolorent. La maladie entraîne un retard de croissance.

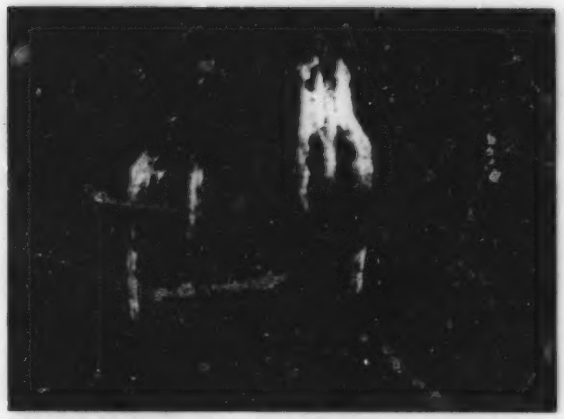


Planche 96. Le pourridié phytophthoréen se manifeste à mesure que les plantules lèvent. Celles-ci sont rabougries et commencent à flétrir.

Planche 97. La pourriture fusarienne se manifeste par des fibres oxydées et brun foncé dans le xylème des racines.

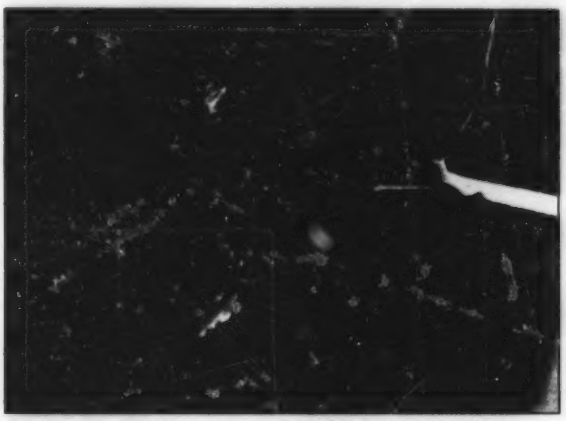


Planche 98. La tache leptosphaerulinienne se manifeste d'abord par de petites taches foncées qui grossissent jusqu'à se fondre. Les taches sont chamois au centre et présentent un halo jaune.

Planche 99. Le déchaussement des plants de luzerne est causé par les cycles de gel et de dégel du début du printemps, qui ont pour effet de soulever le collet.

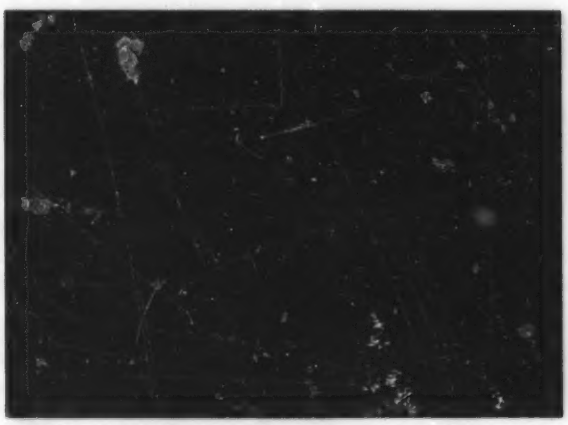


Planche 100. Syndrome du rang de maïs dans le blé d'automne causé par la rémanence des engrais ou des pesticides dans les rangs des cultures précédentes.

Planche 101. Verse due au chevauchement des travées et/ou à des doses excessives d'engrais azoté.

Planche 102. Brûlure des feuilles par de l'engrais à base de nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) 28 %.

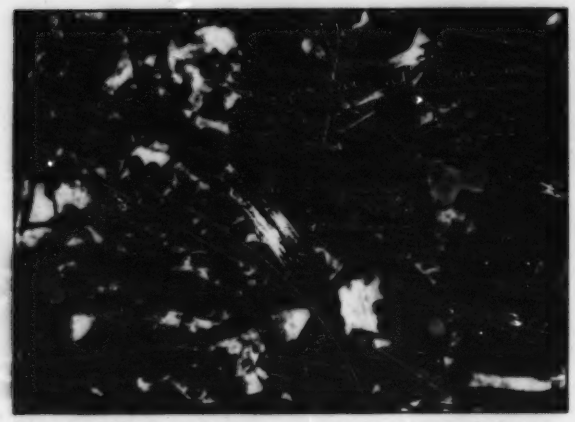


Planche 103. Dans l'avoine, une carence en manganèse se manifeste par des taches ovales, grises et irrégulières sur les feuilles.

Planche 104. Dans le blé d'automne, les carences en manganèse (stries jaune pâle entre les nervures) se produisent surtout dans les sols sableux au pH élevé ou dans les terres noires.

Planche 105. Le puceron du merisier à grappes est vert olive foncé, avec des taches rouge orangé vers l'arrière de l'abdomen.

Planche 106. Les larves du criocère des céréales sont jaunâtres, mais cette teinte est obscurcie par une couche d'excréments noire qui leur donne l'aspect des limaces.

Planche 107. À son plein développement, la larve de la légionnaire uniponctuée mesure 4 cm (1 ½ po) de long. Les bandes sombres dans le haut de chaque fausse-patte constituent un trait distinctif.

Planche 108. Les brûlures des semis sont causées par plusieurs organismes. Bien des plantules ne lèvent pas ou lèvent, mais paraissent jaunes et comportent de la pourriture brune ou brun rouge à la base de leur tige.

Planche 109. Le piétin-échaudage est visible à l'épiaison. Cette maladie racinaire fait blanchir l'épi, la tige et les feuilles.

Planche 110. La tache ocellée produit des lésions elliptiques en forme d'œil sur l'entre-nœud inférieur près de la ligne de sol.

Planche 111. La moisissure des neiges apparaît à la fonte des neiges après que la culture est restée ensevelie sous la neige pendant une longue période. Les plants morts sont visqueux, bruns et pourris.

Planche 112. La rouille des feuilles affecte le limbe et la gaine foliaire. Les petites taches jaune brun contiennent des spores allant de l'orangé au brun orangé.

Planche 113. La rouille de la tige peut affecter les feuilles, la gaine foliaire, la tige et l'épi.

Planche 114. Le virus du nanisme jaune de l'orge est transmis par les pucerons. Il se manifeste par le rabougrissement des plants accompagné de la coloration jaune, rouge ou violacée de la pointe des feuilles.

Planche 115. Dans les cultures d'avoine, des feuilles rouges sont le principal symptôme du virus du nanisme jaune de l'orge.

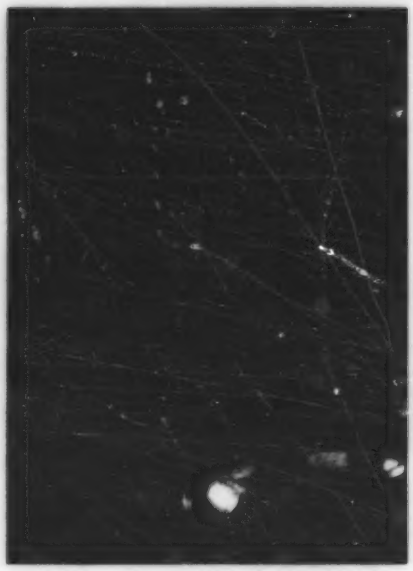


Planche 116. Le charbon nu provoque le remplacement des grains par des masses de spores sèches et noires, visibles peu après la sortie des épis.

Planche 117. Le blanc (oïdium) provoque la formation d'un feutre mycélien duveteux allant du blanc au gris sur les feuilles. La maladie progresse de bas en haut.

Planche 118. La tache septorienne se manifeste par de petites taches allant du vert pâle au jaune qui s'allongent pour former des lésions brun rougeâtre.

Planche 119. La tache des glumes présente de petites taches ovales allant du gris au brun sur les feuilles et par des zones brun violacé sur les glumes.

Planche 120. La brûlure de l'épi causée par *Fusarium* fait blanchir l'épi en totalité ou en partie. D'ordinaire, la tige reste verte.

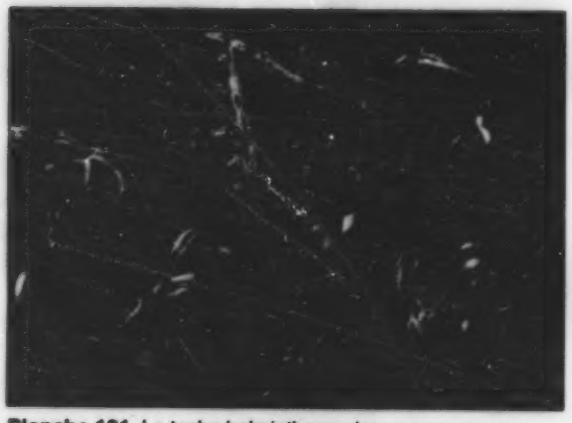


Planche 121. La tache helminthosporienne provoque l'apparition de taches brunes sur les feuilles et peut causer la brûlure des semis et la pourriture de la base de la tige.

Planche 122. La rayure réticulée se manifeste d'abord par des taches vert pâle ou brunes qui s'étendent et par des lignes qui donnent à la feuille un aspect réticulé.

Planche 123. La tache pâle présente d'abord des taches gorgées d'eau gris-vert qui se transforment en taches de couleur chamois aux pourtours bruns.

Planche 124. Le déchaussement du blé d'automne est causé par les cycles gel-dégel qui soulèvent le collet au début du printemps.

Planche 125. Les dommages causés par l'atrazine se voient surtout lorsqu'il y a chevauchement des travées et le long des tournières où des herbicides ont déjà été épandus.

Planche 126. Dommages causés par une surdose de glyphosate. Le glyphosate peut dériver et atteindre des cultures sensibles en bordure des champs.

Planche 127. Brunissement de la pointe des feuilles occasionné par un herbicide à base de bromoxynil.

Planche 128. Les larves de la noctuelle des légumineuses sont vert pâle et ont deux lignes blanches qui leur parcourent le dos longitudinalement.

Planche 129. Adulte et larve de la coccinelle mexicaine des haricots. L'adulte a 16 points noirs sur le dos de couleur rouge cuivré. Les larves sont pourvues d'épines aux pointes noires le long du dos.

Planche 130. La brûlure bactérienne se manifeste d'abord par l'apparition sur les folioles de petites cloques d'eau qui s'étendent pour former entre les nervures, des zones brunes et sèches au pourtour jaune.

Planche 131. L'anthracnose provoque l'apparition de lésions rondes ou angulaires sur les feuilles, les tiges et les gousses. Les lésions sont enfoncées et laissent paraître un anneau noir distinct sur le pourtour.

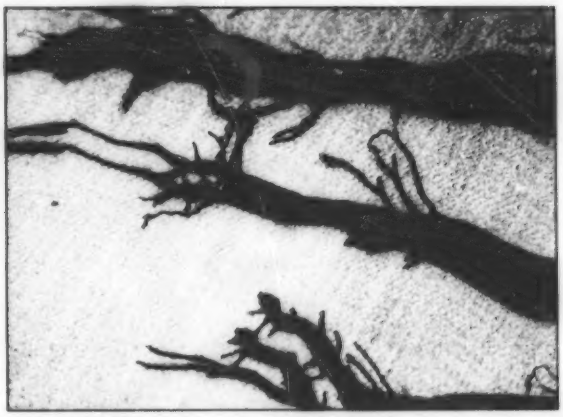


Planche 132. Causée par différents organismes, la pourriture des racines se manifeste notamment par des racines décolorées et le rabougrissement du plant ou son flétrissement.

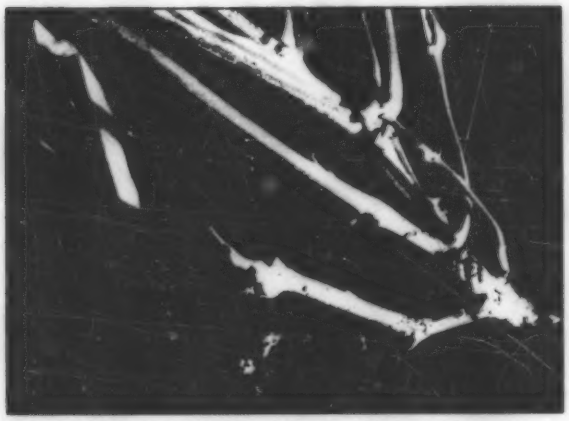


Planche 133. La moisissure blanche (*Sclerotinia)* infecte d'abord les vieilles fleurs et les feuilles mortes, et finit par s'étendre aux gousses, aux feuilles et aux tiges saines.

Planche 134. Les sclérotes de la moisissure blanche sont des organes noirs et durs produits à la surface ou à l'intérieur de la tige et des gousses.

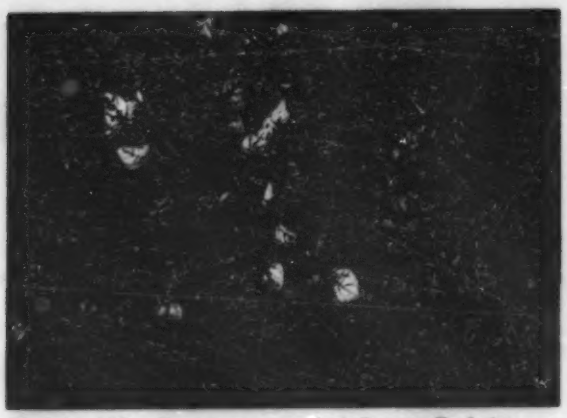


Planche 135. « Bronzage » causé par l'ozone. De fortes concentrations d'ozone peuvent endommager les feuilles et provoquer le bronzage de leur face supérieure.

Planche 136. Dommages causés par les herbicides à base de quizalofop-p-éthyl. Les symptômes s'apparentent à des mouchetures allant du blanc au jaune sur les feuilles.

Planche 137. Dommages causés par un inhibiteur de l'acétolactate synthase (ALS) sur les haricots blancs. Les symptômes se manifestent par le jaunissement des feuilles dans la partie haute ou la partie basse du plant. Les plants peuvent aussi devenir rabougris.

Planche 138. Échaudage. Des températures élevées durant la floraison peuvent provoquer l'apparition de signes d'échaudage (surtout chez les cultivars de printemps) et réduire le rendement en graines.

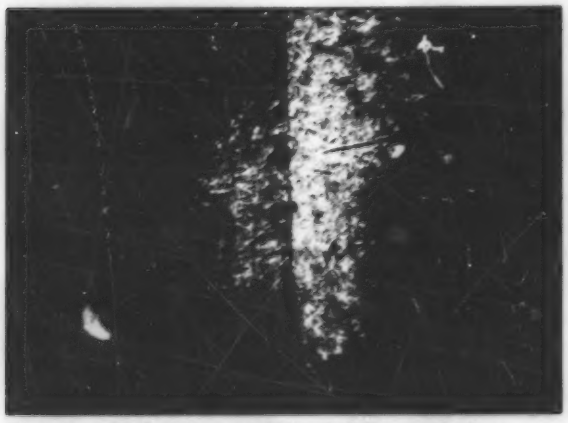


Planche 139. Spécimens adultes de l'altise rayée (à gauche) et de l'altise des crucifères. Les blessures occasionnées par les altises peuvent être graves durant les trois premières semaines qui suivent la levée.

Planche 140. On peut facilement identifier les fausses-teignes des crucifères adultes par les taches blanches en forme de losange visibles sur leur dos lorsque leurs ailes sont au repos.

Planche 141. Les larves de fausse-teigne des crucifères vont du vert pâle au vert jaunâtre et ont la tête brune. Les larves reculent en se tortillant lorsqu'elles sont dérangées.

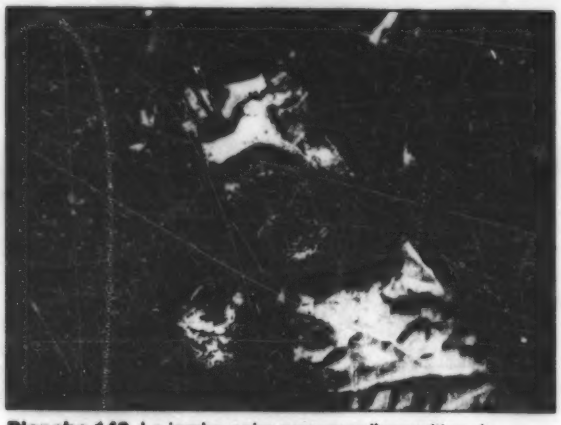


Planche 142. La jambe noire provoque l'apparition de lésions blanches ou chamois, de forme circulaire ou irrégulière qui contiennent de nombreux points noirs (pycnides).

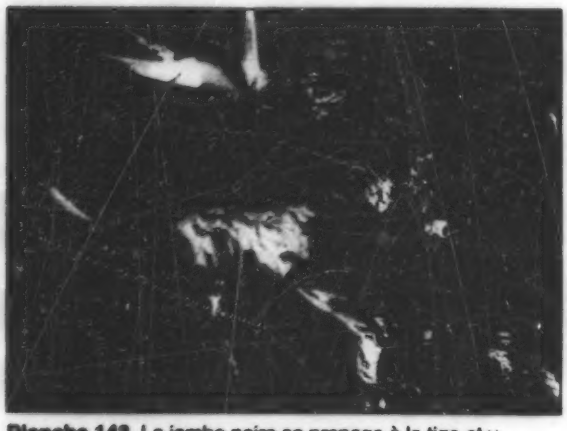


Planche 143. La jambe noire se propage à la tige et y produit un chancre qui ceinture la base de la tige.

Planche 144. La moisissure blanche (*Sclerotinia*) provoque la formation de lésions blanches (délavées) sur la tige et des sclérotes noires et dures à l'intérieur de la tige.

Planche 145. Moisissure blanche sur la graine. À la récolte, on trouve parfois dans la graine des sclérotes noires produites par la moisissure blanche.

Planche 146. Le virus de la mosaïque du navet provoque la marbrure des feuilles et le plissement ou le gaufrage du limbe. Peut aussi faire jaunir le plant et en freiner la croissance.

Planche 147. Dans les cultures de tournesol, la moisissure blanche provoque la pourriture du collet, des infections de la partie moyenne de la tige et la pourriture du capitule.

Planche 148. Dépistage des insectes à l'aide de pièges-sondes insérés dans le grain.

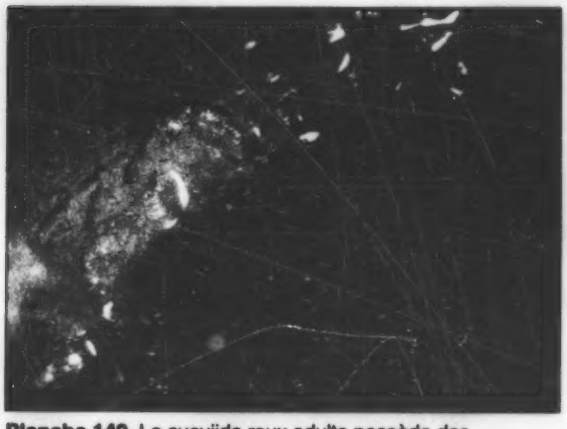


Planche 149. Le cucujide roux adulte possède des antennes aussi longues ou plus longues que sa tête et son thorax combinés.

Planche 150. La pyrale indienne de la farine adulte laisse des toiles sur le dessus du tas de grains.

Planche 151. Le charançon du blé est un charançon au thorax couvert de petits trous ovales.

Planche 152. La tête du petit perceur des céréales est inclinée vers le bas et est recouverte d'un large bouclier prothoracique. Ce ravageur dégage une odeur de moisi.